

Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічних робіт з курсу «Електропостачання електричного транспорту» (для студентів 3 курсу всіх форм навчання напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: В. К. Нем, М. І. Кисельов, В. І. Скуріхін. – Х.: ХНАМГ, 2009. – 66 с.

Укладачі: В. К. Нем,
М. І. Кисельов,
В. І. Скуріхін

Рецензент: начальник Енергослужби ХКП «Міськелектротранс»
Д. А. Герасименко

Рекомендовано кафедрою ЕТ,
протокол № 7 від 17.02.2009 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 РГР № 1. МЕХАНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ.....	5
1.1 ЗМІСТ ЗАВДАННЯ І СКЛАД РОБОТИ.....	5
1.2 ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ХОРДИ НА КРИВОЛІНІЙНИХ ДІЛЯНКАХ ШЛЯХУ.....	6
1.2.1 Мережа трамвая.....	6
1.2.2 Мережа тролейбуса.....	7
1.3 РОЗБИВКА ОПОР І СКЛАДАННЯ ПЛАНУ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ.....	8
1.4 ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЛЯ В ПОПЕРЕЧКАХ І ВИСОТИ ТОЧОК КРІПЛЕННЯ ЇХ ДО ОПОР.....	13
1.4.1 Загальні вказівки.....	13
1.4.2 Розрахунок поперечок на прямих ділянках шляху.....	14
1.4.3 Розрахунок поперечок на криволінійних ділянках шляху.....	16
1.4.4 Визначення висот закріплення поперечок h_n на опорах...	19
1.4.5 Зниження навантажень на опори і вибір типів опор.....	21
ДОДАТОК.....	24
2 РГР № 2. ЕЛЕКТРИЧНИ РОЗРАХУНКИ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ.....	41
2.1 Особливості режиму роботи й розрахунку приладів електропостачання.....	45
2.1.1 Схема і класифікація систем електропостачання міського електричного транспорту.....	45
2.2 Особливості режиму роботи МЕТ.....	46
2.3 Послідовність проектування систем електропостачання.....	47
2.4 Параметри і схеми тягових мереж.....	49
2.5 Електричні величини й нормативи.....	54
3 РОЗРАХУНКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН.....	56
3.1 Розрахунок поїздових струмів.....	56
3.2 Аналітичний розрахунок тягових навантажень.....	59
3.3 Розрахунок навантажень за даними експериментів.....	61
3.4 Розрахунок числа поїздів і навантажень на ділянках.....	63
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	66

ВСТУП

Згідно навчального плану зі спеціальності 7.092202 «Електричний транспорт» до курсу «Електропостачання електричного транспорту» передбачено дві розрахунково-графічні роботи (РГР) .

В зв'язку з цим у першій частині розрахунково-графічної роботи виконують проектування електропостачання ділянки трамвая чи тролейбуса з детальною розробкою конструкції контактної мережі. Як вихідні дані задають район живлення тягової мережі трамвая чи тролейбуса з вказівкою типу рухомого складу (РС), обсягів руху, швидкості й тривалості експлуатації РС, профілю ділянок живлення, характеристики прямих і кривих ділянок. Студенти вибирають типи підвіски контактного проводу на прямих і кривих ділянках, виконують розбивку і складання плану контактної мережі, розрахунок поперечних і поздовжніх конструкцій з визначенням зусиль, що діють на опори, вибір типових опор.

У другій частині при розрахунку електропостачання трамвая чи тролейбуса визначають число потягів по ділянках тягової мережі і значення електричних навантажень на цих ділянках, здійснюють розрахунок тягової мережі, вибирають схеми живлення, визначають необхідну кількість тягових підстанцій і їхнє місце розташування, обґрунтовують потужності підстанцій, перерізи контактної мережі й живильних позитивних і негативних кабелів, проводять розрахунок струмів короткого замикання у тяговій мережі, а також техніко-економічні розрахунки щодо обґрунтування параметрів системи електропостачання.

Обсяг розрахунково-графічної роботи – (20-25) сторінок тексту зі схемами живлення, секціонування. Графічна частина РГР складається з двох аркушів формату А3 і включає креслення плану контактної мережі, електричної схеми електропостачання ділянки мережі з нанесенням величин навантажень по ділянках, перерізу контактних проводів, характеристики живильних ліній (переріз, марка кабелю, довжина лінії), конструкцій поздовжніх і поперечних елементів контактної мережі, епюр згинальних моментів, що діють на опори.

Вихідні дані наведені в додатку, рисунки Д.1-Д.10.

1 РГР № 1. МЕХАНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ

1.1 ЗМІСТ ЗАВДАННЯ І СКЛАД РОБОТИ

Зробити розбивку опор на криволінійній і прямолінійній ділянках мережі й виконати механічний розрахунок простої полігонної підвіски контактної мережі на трамвайній чи тролейбусній криволінійній ділянці мережі, подані на кресленні завдання, а також поздовжніх ланцюгових підвісок на прямолінійній ділянці.

Виконання першої частини проекту припускає наступне:

- * установлення довжини хорди на криволінійних ділянках шляху;
- * розбивка опор і складання плану контактної мережі з вказівкою анкерування проводу;
- * визначення зусиль у поперечках і висоти закріплення їх на опорах;
- * визначення зусиль у поздовжніх елементах контактної мережі на прямолінійних ділянках;
- * визначення зусиль, що діють на опори, і вибір типів опор.

Графічна частина проекту включає план вузла трамвайної (чи тролейбусної) мережі з нанесеним трасуванням контактної мережі, положення опор і схеми анкерування проводу з вказівкою нумерації і типів опор, довжини хорд і прольотів проводу і поперечок, висоти закріплення поперечок на опорах; конструкцію поздовжніх і поперечних елементів контактної мережі й епюр згинальних моментів, що діють на опори; креслення нестандартної опори (при її застосуванні).

Вихідні дані для виконання проекту задає викладач:

- * S - переріз контактного проводу, мм^2 ;
- * h - висота підвісу контактного проводу, м;
- * l - довжина прольоту на прямій ділянці, м;
- * Π район кліматичних умов;

Ухил поперечок:

- * на прямій ділянці і з внутрішньої сторони кривої $\frac{1}{n} = 1/10-1/12$;
- * із зовнішньої сторони кривої $\frac{1}{n} = 1/15-1/20$;
- * для несучих тросів ланцюгових поперечок $\frac{1}{n} = 1/5-1/7$;
- * для відтягнень $\frac{1}{n} = 1/20-1/40$;
- * для анкерних дротів $\frac{1}{n} = 1/30-1/40$;
- * для внутрішніх стосовно кривої частин простих поперечок $\frac{1}{n} = 1/5-1/10$.

1.2 ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ХОРДИ НА КРИВОЛІНІЙНИХ ДІЛЯНКАХ ШЛЯХУ

1.2.1 Мережа трамвая

Якщо невідомий центр кривої і її радіус:

* Знайти початок і кінець кожної криволінійної ділянки вузла, для чого провести дотичні в передбачуваних початках і кінцях кривих по осі шляху. У точках торкання дотичної, що є продовженням прямої ділянки, і знаходять шуканий початок і кінець кривої.

* Знайти центр кожної кривої, для чого відновити як мінімум два перпендикуляри до двох дотичних в будь-яких точках даної кривої. Точка перетинання цих перпендикулярів і є центром.

* Обчислити радіус кожної кривої (відстані від центра кривої до осі шляху).

* Визначити довжину прольоту (хорди) на криволінійних ділянках контактної мережі трамвая, виходячи з двох умов:

1. Винос точки кріплення контактного проводу від осі шляху не повинний перевищувати величину $b=0,3$ м, при цьому довжина хорди [1]:

$$a = 4\sqrt{R \cdot b}; \text{ м.}$$

2. Горизонтальне зусилля в точці зламу осі контактного проводу не повинне перевищувати $Q_{\text{доп}}=2500\text{Н}$:

$$a = \frac{Q_{\text{доп}} \cdot R}{H_{\text{доп}}}, \text{ м},$$

де R - радіус кривої по осі шляху, м;

b - величина виносу точки кріплення контактної проводу від осі шляху, м;

$Q_{\text{доп}}$ - припустиме значення горизонтального зусилля, випробуване болтом підвіски внаслідок зламу осі проводу, Н;

$H_{\text{доп}}$ - максимально припустимий натяг контактної проводу, Н;

приймається відповідно до нормативних документів рівним:

* для проводу перерізом $65 \text{ мм}^2 - H_{\text{доп}} = 8000 \text{ Н}$;

* для проводу перерізом $85 \text{ мм}^2 - H_{\text{доп}} = 10000 \text{ Н}$;

* для проводу перерізом $100 \text{ мм}^2 - H_{\text{доп}} = 12000 \text{ Н}$.

Оскільки обрана довжина хорди повинна задовольняти обома умовам, то з отриманих значень за обома формулами приймають менше.

1.2.2 Мережа тролейбуса

При використанні кривих тримачів довжину хорди визначають, виходячи з таких умов [2]:

1. Створення оптимальних умов взаємодії між головою струмоприймача і контактним проводом:

$$a = 2 \cdot \sqrt{2R - 3}, \text{ м},$$

2. Обмеження кута зламу осі контактної проводу:

$$a = 2 \cdot (R - 2) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \text{ м},$$

де α - гранично припустимий кут зламу проводу.

При використанні твердих тролейбусних підвісів кут зламу осі контактних проводів на кривих ділянках мережі тролейбуса при швидкості руху до 15км/год не повинен перевищувати 8 град.

У цьому випадку довжина хорди

$$a = 2 \cdot R \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, \text{ м.}$$

1.3 РОЗБИВКА ОПОР І СКЛАДАННЯ ПЛАНУ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ

Розбивку контактної мережі на криволінійних ділянках шляху виконують з початку (чи кінця) кривої від стрілки, виходячи з обраної раніше припустимої довжини хорди. Відповідно до [2] найближчу до прямої ділянки шляху (початок чи кінець кривої) точку фіксації контактного проводу трамвая слід розташовувати на відстані, рівній половині довжини хорди від початку (кінця) кривої. На тролейбусні мережі ця вимога не поширюється. У межах криволінійної ділянки шляху необхідно розмістити ціле число хорд. Якщо не виконується ця умова, то треба трохи зменшити довжину хорди і повторити побудову заново. При цьому горизонтальне зусилля, випробуване болтом підвіски в точці зламу осі проводу, стане менше прийнятої раніше величини і може бути визначене для мережі трамвая :

$$Q = \frac{a' \cdot H}{R}, \text{ Н,}$$

для мережі тролейбуса:

$$Q = 2 \cdot m \cdot H \cdot \sin \frac{\alpha'}{2}, \text{ Н,}$$

де a' - довжина хорди, отримана в результаті розбивки мережі, м;

α' - дійсний кут зламу осі контактного проводу (із плану мережі після розбивки);

m - кількість контактних проводів мережі тролейбуса; $m=2$ для одноколіїної лінії; $m=4$ для двоколіїної лінії. На двоколіїйних кривих розбивку

мережі слід робити по осі зовнішнього шляху, тому що у випадку розбивки мережі по осі внутрішнього шляху хорди на зовнішній кривій можуть виявитися більше встановленої раніше максимально припустимої величини.

На прямих ділянках шляху, розташованих у межах заданого вузла, розбивку мережі роблять з таким розрахунком, щоб довжина прольоту не перевищувала довжини прольоту на прямих ділянках за завданням.

На криволінійних ділянках шляху відстань між несучими пристроями (поперечками), що сприймають вертикальні навантаження, згідно з [2] не повинна перевищувати 80 % довжини прольоту на прямих ділянках.

У місцях передбачуваного кріплення контактного проводу намічають гнучкі поперечини, що, як правило, повинні розташовуватися:

- * для прямих ділянок шляху - перпендикулярно до осей шляхів і проїзної частини;

- * для криволінійних ділянок - радіально. При неможливості за місцевими умовами виконати ці вимоги допускаються відхилення в розташуванні поперечок:

- * на прямих ділянках - на кут до 20 град.;

- * на криволінійних ділянках - на кут до 10 град.

Одночасно з поперечками намічають розташування опор (рис. 1.1).

Довжину струн ланцюгових, гнучких поперечок приймають не менше 0,5 м - над трамвайними проводами; 0,7 м - над тролейбусними проводами. Фіксує поперечки підвішують до несучої поперечки в кожного контактного проводу через кожні (15-20) м по довжині ланцюгової гнучкої поперечки.

З метою спрощення підвіски і зменшення кількості опор на ряді з простими поперечками намічають пристрій відтягнень, полігонів і т.д. При цьому проміжна фіксація за допомогою однобічних відтягнень допускається не більше ніж на двох суміжних точках зламу контактного проводу трамвая. На трамвайних лініях застосування на вузлах відтягнень у вигляді трапеції не рекомендується.

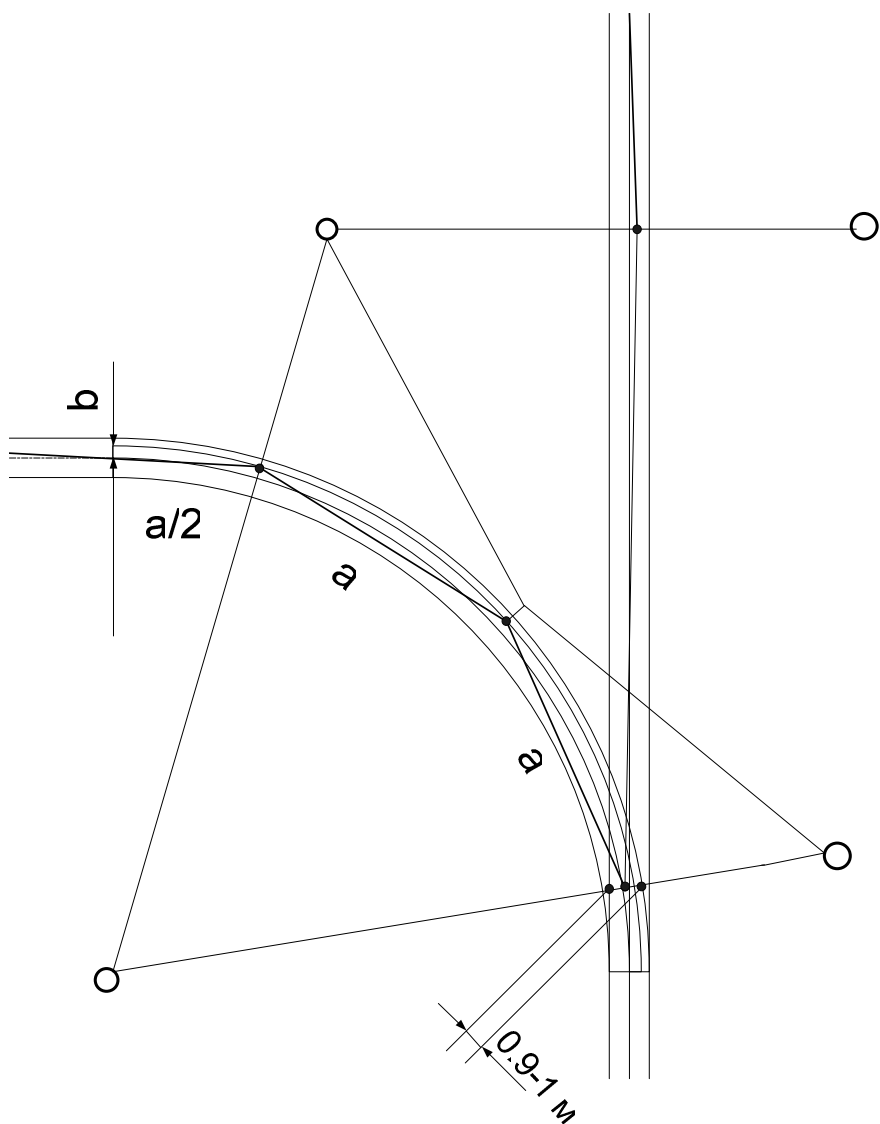


Рис. 1.1 – Розташування опор і поперечок

Кут між контактними проводами і напрямком елемента складної поперечки, закріпленої на опорі, повинен бути для трамвайних мереж не менше 30 град і не менше 40 град для тролейбусних і змішаних мереж.

Кути зламу контактних проводів трамвайних ліній (у горизонтальній площині) при застосуванні ізолюваної підвісної арматури не повинні перевищувати такі значення:

Площа перерізу мідного контактного проводу, мм ²	65	85	100
Кут зламу контактних проводів, град	18	14	12

Довжину прольотів контактних підвісок між опорами на прямих ділянках ліній трамвая і тролейбуса приймають у межах, вказаних у завданні, або відповідно до вказівок нормативних документів.

Розміщення опор контактної мережі трамвая на прямих ділянках шляху виконують з дотриманням мінімальних відстаней (габаритів) наближення, зокрема, на пасажирських, вантажних і службових лініях - не ближче 2300 мм до осі шляху.

При розміщенні опор контактної мережі трамвая на криволінійних ділянках шляху враховують необхідність збільшення габаритів наближення до осі шляху.

При спорудженні трамвайного шляху на відособленому полотні опори можуть встановлюватися між коліями.

Анкерування проводів проектують у місцях закінчення контактних ліній, злиття і розгалуження контактних ліній на стрілочних вузлах (рис. 1.1), поділу контактної підвіски на окремі незалежні анкерні ділянки, зміни натягів і перерізів контактних проводів.

При анкеруванні точку фіксації контактного проводу трамвая слід зміщувати в напрямку анкеру на (250-300) мм. Кут зламу анкерного проводу щодо осі контактного проводу не повинен перевищувати 18 град.

Слід зазначити, що в у методичних вказівках наведені тільки основні рекомендації, оскільки не можна передбачити всі можливі варіанти. Треба домагатися мінімальних витрат на спорудження і експлуатацію контактної мережі.

План контактної мережі являє собою креслення вулиці чи площі, виконаний у масштабі 1:500, з нанесенням в умовних позначках ліній контактної мережі.. Для деталізації особливо складних місць влаштування контактної мережі в окремих (досить рідких) випадках застосовують масштаб 1:200, а для загального представлення всієї проекрованої ділянки складають схему в масштабі 1:1000 чи без нього. На плані вулиці (площі) повинні бути зазначені границі проїзної частини і тротуарів; будинку з короткою

характеристикою, що дозволяє визначити їхню придатність для закріплення стінних гаків; границі зелених насаджень і характер їх; підземні споруди в зоні установки опор.

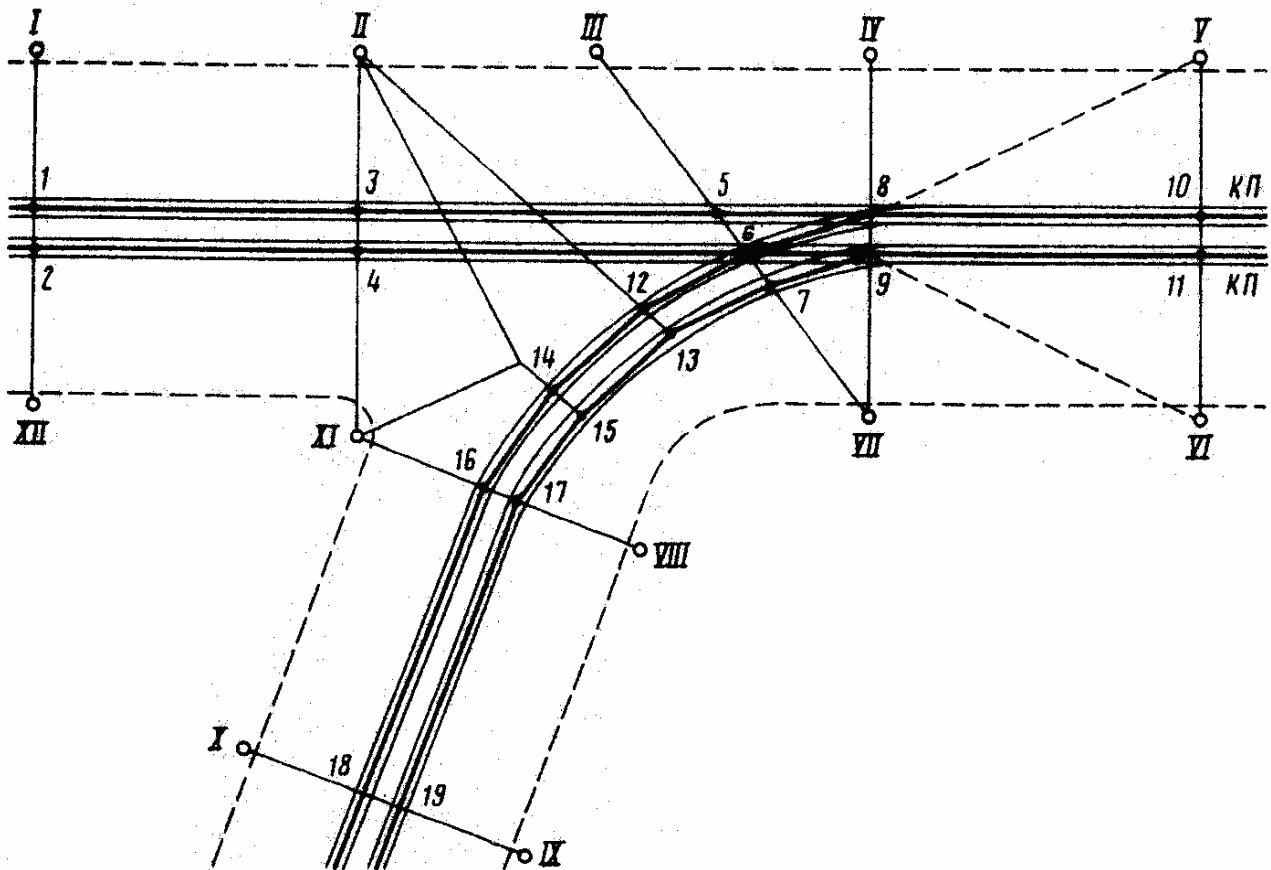


Рис. 1.2 – Схема мережного вузла трамвая (пунктиром з точки кріплення 8 показане анкерування контактного проводу на опорі V, а з точки 9 - на опорі VI)

На кресленні плану показують положення контактних проводів (рис. 1.2) проводів живильних і підсилювальних ліній, довжину і марку проводів, місця установки опор і їхні типи, типи встановлюваних кронштейнів і фіксаторів, місця кріплення поперечок і висоту установки стінних гаків і хомутів на опорах. Показують також місця установки спеціальних частин, їхню марку і кути зустрічі проводів на перетинаннях.(рис. 1.3).

Для розрахунку повинні бути прийняті режими, при яких зусилля в елементах конструкцій контактної мережі будуть максимальними. Якщо довжина прольоту менше критичного прольоту, то як вихідний режим слід прийняти режим мінімальної температури, в противному разі треба прийняти режим найбільшого додаткового навантаження. У проекті рекомендується обирати такі режими:

для прямих ділянок мережі, розташованих поза складним вузлом, режим ожеледиці (у межах вузла ці ділянки розраховують, виходячи з режиму, прийнятого для всього вузла в цілому); для криволінійних ділянок режим найнижчої температури.

1.4.2 Розрахунок поперечок на прямих ділянках шляху

При розрахунку необхідно врахувати наявність ожеледі (режим ожеледиці) на контактному проводі й поперечках. Причому на поперечках товщину стінки ожеледі приймають згідно з табл. Д.2 відповідною заданому кліматичному району, а на контактному проводі – 50 % цієї величини.

Зусилля в поперечці визначають за формулами [2]:

для одноколійної лінії

$$H_1 = \frac{G \cdot n}{2} + \frac{q_n \cdot l_n \cdot n}{4} + \frac{P}{2}, \text{ Н};$$

для двоколійної лінії

$$H_1 = G \cdot n + \frac{q_n \cdot l_n \cdot n}{4} + P, \text{ Н},$$

де G - вертикальна сила в точці підвісу проводу від ваги двох напівпроводів контактної мережі і ваги підвісної арматури, Н;

P - горизонтальне зусилля від тиску вітру на обледенілий провід, Н;

q_n - вага 1 пог.м поперечки разом з ожеледдю, Н/м;

l_n - довжина поперечного прольоту (із плану мережі), м,

$$G = q_{np} \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} + G_{ap}, \text{ Н},$$

де $q_{np} = g_{np} + k_{\Gamma} \cdot g'_{\Gamma}$, - вага 1 погонного метру (пог.м) проводу разом з ожеледдю, Н/м;

$$g_{np} = 9,81 \cdot m_{np} \text{ - вага 1 пог.м проводу, Н/м;}$$

m_{np} - маса проводу, кг/м, обумовлена залежністю від заданого перерізу (табл. Д. І);

$$9,81 \text{ - прискорення сили ваги, м/с}^2 \text{ ;}$$

$$g'_{\Gamma} \text{ - вага ожеледі на 1 пог.м проводу, Н/м,}$$

$$q''_{\Gamma} = 0,028 a \cdot (d + 0,5 \cdot a) \text{ , Н/м,}$$

де a - нормативна товщина стінки ожеледі, мм (табл.Д.2);

d - висота контактного проводу, мм (табл.Д.1);

k_{Γ} - коефіцієнт перевантаження (табл.Д.2);

$\frac{l_1 + l_2}{2}$ - середня величина двох прилягаючих прольотів підвіски, м;

G_{ap} - вага підвісної арматури в точці підвісу проводу, прийнята для трамвайної підвіски на прямолінійних ділянках рівною 20 Н, тролейбуса - 25 Н (на кожен провід) (при наявності в суміжних прольотах відтягнень у вигляді косинця чи трапеції вагу їхньої арматури необхідно розподілити порівну між сусідніми поперечками);

$\frac{1}{n}$ - ухил поперечок до обрію.

Вага 1 пог.м поперечки разом з ожеледдю

$$q_n = q_T + k_{\Gamma} \cdot q''_{\Gamma},$$

де $q_T = 9,81 \cdot m_T$ - вага 1 пог.м троса чи проводу, Н/м;

m_T - маса тросу чи дроту, кг/м, обумовлена залежністю від перерізу (табл. Д.І);

q''_{Γ} - вага ожеледі на І пог.м дроту чи тросу,

$$q'_{\Gamma} = 0,028 \cdot a \cdot (d + a),$$

де a - нормативна товщина стінки ожеледі, мм (табл. Д.2);

d - діаметр проводу чи тросу, мм (табл. Д.1).

Горизонтальне зусилля від тиску вітру на обледенілий провід (Н)

$$P = \rho \cdot \frac{l_1 + l_2}{2} \cdot k_6,$$

де ρ - вітрове нормативне навантаження на 1 пог.м проводу, обумовлене залежністю від заданого району по ожеледі за табл. Д.3;

k_6 - коефіцієнт перевантаження для тиску вітру на проводи, вкриті ожеледдю (табл. Д.3). Розраховане зусилля в поперечці не повинне перевищувати максимально припустиму величину, згідно з табл. Д.І. При невиконанні цієї умови треба збільшити діаметр проводу чи канату і повторити розрахунок за п.1.4.2.

1.4.3 Розрахунок поперечок на криволінійних ділянках шляху

Горизонтальні зусилля у простих поперечках (Н) знаходять за формулами:
для одноколійної лінії із зовнішньої сторони кривої

$$H_A = \frac{\pi_1}{\pi_1 + \pi_2} \cdot (G_1 \cdot \pi_2 + \frac{g_n \cdot l_n \cdot n_2}{2} + P_1), \text{ Н};$$

для одноколійної лінії з внутрішньої сторони кривої

$$H_B = \frac{\pi_2}{\pi_1 + \pi_2} \cdot (G_1 \cdot \pi_1 + \frac{g_n \cdot l_n \cdot n_1}{2} - 0,4 \cdot P_1), \text{ Н};$$

для двоколійної лінії із зовнішньою стороною кривої

$$H_A = \frac{\pi_1}{\pi_1 + \pi_2} \cdot \left[((G_1 + G_2) \cdot \pi_2 + \frac{g_n \cdot l_n \cdot n_2}{2} + P_1 + P_2) \right], \text{ Н};$$

для двоколійної лінії з внутрішньої сторони кривої

$$H_B = \frac{\pi_2}{\pi_1 + \pi_2} \cdot \left[((G_1 + G_2) \cdot \pi_1 + \frac{g_n \cdot l_n \cdot n_1}{2} - 0,4 \cdot (P_1 + P_2)) \right], \text{ Н},$$

де $\frac{1}{n_1}$ - ухил поперечок до обрію із зовнішньої сторони кривої, для трамваю – (1/15-1/20);

$\frac{1}{n_2}$ - ухил поперечок до обрію з внутрішньої сторони кривої, приймають

таким, щоб відношення $\frac{n_1}{n_2} = (2 - 2,5)$. Правильність вибору цього ухилу перевіряють подальшим розрахунком, що повинен забезпечити натяг контактного проводу з внутрішньої сторони;

P_1, P_2 - горизонтальні зусилля в точці підвісу проводів кожного шляху, що виникають внаслідок зламу контактного проводу в точці кріплення, Н. *Для крайніх поперечок на кривій ці зусилля необхідно прийняти в два рази меншими, ніж усередині кривої (з розрахунку з вираження для скоректованої на плані мережі довжини хорди)*. Тиск вітру на проводи не враховують, тому що прийнято режим щонайнижчої температури;

l_n - довжина поперечного прольоту (з плану мережі), м;

g_n - вага 1 пог.м проводу чи канату поперечки, Н/м;

$g_n = m_T \cdot 9,81$ Н/м (значення m_T - з табл. Д. І);

G_1, G_2 - вертикальні сили в точці підвісу проводів кожного шляху від ваги напівпрольотів контактний проводу і ваги підвісної арматури:

$$G_1 = g_{np} \cdot \left(\frac{l_1 + l_2}{2} \right) + G_{арм}, \text{ Н,}$$

де $g_{np} = m_{np} \cdot 9,81$, Н/м – вага 1 пог.м проводу;

l_1, l_2 - довжини сусідніх прольотів (за планом мережі), м;

$G_{арм}$ - вага арматури, приймають для криволінійних ділянок 25 Н для трамвая і при жорстких підвісах тролейбуса; вага кривого тримача тролейбуса - 250 Н;

g_n - вага 1 пог.м дроту поперечки, Н/м,

$$g_n = m_T \cdot 9,81, \text{ Н/м.}$$

Таким чином, горизонтальне зусилля в точці підвісу слід визначити як реакцію на силу Q , що виникає в результаті зламу контактний проводу, і перерахувати його у випадку зміни довжини хорди при складанні плану:

$$P_1 = P_2 = Q = \frac{a \cdot H}{R}, \text{ Н.}$$

Зусилля із зовнішньої сторони кривої слід визначати за умови максимального значення натягу, тобто за останньою формулою, тому що в цьому випадку зусилля в поперечці матиме максимальне значення (сили спрямовані в одному напрямку і складаються).

Зусилля з внутрішньої сторони кривої треба визначати, виходячи з мінімального значення горизонтального зусилля від зламу проводу, тобто при найменшому натягу проводу, тому що зусилля в поперечці з внутрішньої сторони кривої і горизонтальне зусилля спрямовані в протилежні сторони, тому зусилля в поперечці буде максимальним у тому випадку, якщо мінімальним є горизонтальне зусилля від зламу проводу. З достатньою точністю можна прийняти мінімальний натяг проводу, рівний 40 % від максимального натягу:

$$P_1 = P_2 = 0,4 \cdot Q \cdot P, H.$$

Для підтримки троса натягнутим із внутрішньої сторони кривої необхідно виконати таку умову:

для одноколійної лінії

$$H_{\text{в min}} = \frac{n_2}{n_1 + n_2} \cdot (G_1 \cdot n_1 + \frac{g_n \cdot l_n \cdot n_1}{2} - 0,4 \cdot P_{1\text{ max}}) \geq 300H;$$

для двоколійної лінії

$$H_{\text{в min}} = \frac{n_2}{n_1 + n_2} \cdot \left[((G_1 + G_2) \cdot n_1 + \frac{g_n \cdot l_n \cdot n_1}{2} - 0,4(P_{1\text{ max}} + P_{2\text{ max}})) \right] \geq 300H.$$

Якщо ці умови не виконуються, то в останньому виразі слід замість знака \geq поставити знак $=$, а ухил з внутрішньої сторони вважати як невідомий і знайти його з цього виразу.

При розрахунку контактних мереж тролейбуса перевірку на натяг троса з внутрішньої сторони не роблять, тому що в цьому випадку величину ухилу з внутрішньої сторони кривої не задають орієнтовно, а встановлюють у результаті точного розрахунку.

При негативному значенні зусилля з внутрішньої сторони кривої проста поперечка перетворюється у відтягну і розраховується як відтяжна поперечка.

Відтяжні поперечки, на відміну від простих, застосовують на заокругленнях шляхів для проміжної фіксації контактних проводів, сприймають вони лише горизонтальні навантаження. Відповідно до цього зусилля у відтяжній поперечці (Н)

$$H_A = \sum P,$$

тобто воно дорівнює сумі всіх горизонтальних зусиль, що діють у точках кріплення проводу.

Отримані в результаті розрахунків максимальні зусилля в гнучких поперечинах не повинні перевищувати припустимих максимальних навантажень на проводи і троси за умови триразового запасу міцності (див. табл. Д.І додатку). Якщо ця умова для прийнятих перерізів гнучких поперечин не буде витримана, перерізи їх мають бути відповідно збільшені.

1.4.4. Визначення висот закріплення поперечок h_n на опорах

Висота закріплення гнучкої поперечини на опорі (рис. 1.4)

$$h_n = h + x + \frac{l}{n}, \text{ м,}$$

де h - висота підвісу контактного проводу в точці кріплення над головою рейки для трамвая чи над поверхнею дорожнього покриття, м;

x - висота підвісу для трамвайної підвіски і кривого держака тролейбуса дорівнює 0,1 м, для жорсткої підвіски тролейбуса - 0;

l - відстань від точки кріплення найближчого контактного проводу до опори. При визначенні висоти закріплення вуса косинця чи полігону відстань l приймають рівною проекції вуса на напрямок поперечки. Ухил поперечки до обрію - відповідно з внутрішньої чи зовнішньої сторони кривої чи на прямій ділянці.

Для тролейбусної мережі у виразі застосування кривих держаків визначення ухилу троса потрібно проводити, виходячи з деякого середнього

тяжіння в контактних проводах, що відповідає середній висоті підвіски проводу.

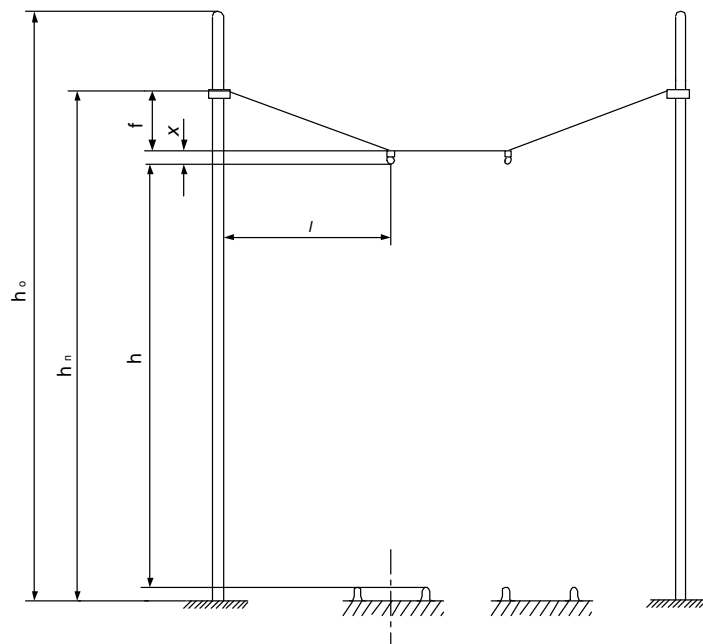


Рис. 1.4 - Схема до розрахунку висоти закріплення поперечок

Напруження середнього рівня в проводі (Н/мм²)

$$\sigma_{cp.yp} = \frac{2 \cdot \sigma_{max} \cdot \sigma_{min}}{\sigma_{max} + \sigma_{min}},$$

де σ_{max} - максимально допустиме напруження в контактному проводі, приймають рівним 125 Н/мм²;

σ_{min} - мінімальне напруження, що допускається, у проводі, дорівнює 45 Н/мм².

Величину розрахункового тяжіння у проводі (Н) для визначення ухилу троса із зовнішньої сторони кривої знаходять за формулою

$$K_P = \sigma_{cp.yp} \cdot S,$$

де S – переріз контактного проводу, мм².

Горизонтальне зусилля, що діє на трос із зовнішньої сторони кривої для будь-якого кута зламу проводу (Н),

$$Q = 2 \cdot m \cdot K_P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, \text{ Н},$$

де m - кількість контактних проводів.

Ухил троса із зовнішньої сторони кривої

$$\frac{1}{n_1} = \operatorname{tg} \beta = \frac{G}{Q}$$

де β - кут нахилу троса до обрію;

G - вага проводів, тросів і кривого держака на точку підвісу, Н.

1.4.5. Визначення навантажень на опори і вибір типів опор

У контактних мережах трамвая і тролейбуса, як правило, застосовують залізобетонні опори типових конструкцій. Типи опор і їхніх основних характеристик наведені в табл.Д.5. У випадках, коли розрахункові навантаження на одну опору перевищують припустимі для залізобетонних опор або при недостатньому габариті останніх за висотою, застосовують спеціальні металеві опори (табл. Д.6).

Результуючі навантаження, що діють на опори, встановлюють шляхом геометричного додавання всіх сил, прикладених до опори. При цьому можна складати тільки прикладені в одній точці зусилля. Тому зусилля, передані поперечками й прикладені на різних висотах, повинні бути приведені до однієї висоти з таким розрахунком, щоб згинальний момент, що діє на опору, не змінився (рис.1.4). Оскільки в табл.Д.6 наведені припустимі навантаження на висоті 8,5 м від рівня закладення їх у ґрунт, то найбільш доцільно приводити до цієї висоти всі навантаження, прикладені до опори на різних висотах. Знаходять приведені (до однієї висоти 8,5 м) навантаження (Н) за наступною формулою:

$$H_{np} = H_n \cdot \frac{h_n}{h_o} = H_n \cdot \frac{h_n}{8,5},$$

де $h_o = 8,5$ - вільна висота опори, м;

H_n - зусилля, що діє на опору в точці його прикладення, Н;

h_n - висота точки прикладення зусилля, що діє на опору, м

Зусилля у вусі косинця визначають геометричною побудовою. Відкладають у точці зламу контактних проводів у напрямку бісектриси кута силу (у відповідному масштабі), що дорівнює горизонтальному зусиллю Q , а в зворотному напрямку - реакцію на це зусилля, рівну за величиною. Цю реакцію розкладають геометрично на два напрямки вусів косинця. Отримане зусилля буде прикладене до опори в точці кріплення вуса косинця. При розрахунку зусиль у вусах трапеції слід вважати, що горизонтальні зусилля від зламу проводів рівнобіжні один одному слід скласти їх геометрично в точці продовження вусів трапеції, а далі розкласти реакцію на це зусилля аналогічно, як і для вуса косинця. Розрахунки на вибір опор зручно провести за формою, наведеною в табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Сумарне навантаження та вибір типу опор

Номер опори	Найменування тросів, що закріплюються	Висота закріплення тросів, м	Зусилля дійсне, Н	Зусилля опори, приведені до вершини, Н	Сумарне навантаження на опору, Н	Тип чи номер опори
	Поперечка					
	Вус косинця					
	Вус полігону					
	Анкерування					
	Відтягнення					

Усі приведені зусилля, що діють на розглянуті опори, складають геометрично. Виходячи із сумарного зусилля, вибирають типову опору за табл. Д.6.

Для закріплення гнучких поперечин можуть бути також використані стіни кам'яних і залізобетонних будинків. При цьому зусилля на гак не повинне перевищувати 7000 Н.

У тих випадках, коли на опорі закріплюються гнучкі поперечини і відтягнення різних напрямків, що переважають, навантаження визначають для найбільш не вигідного сполучення всіх діючих навантажень, з урахуванням можливості відриву кожного з тросів, що закріплюються.

Опори контактних мереж трамвая і тролейбуса не заземлюють, оскільки в цих мережах передбачається не менше двох ступенів ізоляції між устаткуванням, що знаходиться під напругою, і опорами. Трубчасті сталеві опори застосовують тільки у вузлах вантажної компенсації, у місцях відводів живильних кабелів, а також на міських інженерних спорудах (мостах, шляхопроводах, естакадах і т.д.). Необхідність застосування сталевих опор відповідної конструкції повинна бути обґрунтована в проекті.

Таблиця Д.1 – Основні дані контактних проводів, сталевих проводів і канатів

Матеріал	Площа поперечного перерізу $S, \text{мм}^2$	Модуль пружності на розтяг, Н/мм^2	Коефіцієнт лінійного температурного подовження α	Руйнівне навантаження, H	Максимально-допустимий натяг при запасі міцності		Маса 1м, кг/м	Висота монтажного проводу, мм
					3-кратному	4-кратному		
Контактний провід МФ- 65	65	130000	0,000017	24700	8000	-	0,58	9,3
Контактний провід МФ- 85	85	130000	0,000017	30600	10000	-	0,76	10,8
Контактний провід МФ- 100	100	130000	0,000017	35000	12000	-	0,89	11,8
Сталевий оцинкований провід за ДСТ 3617-71 діаметром 5 мм.	18,6	200000	0,000012	18600	6500	-	0,155	-
Сталевий спіральний канат типу ЛК-0 семижильный за ДСТ 3062-69 діаметром 6,7 мм.	26,96	200000	0,000012	31700	10560	7920	0,235	-
Те ж діаметром 8,0 мм	38,01	200000	0,000012	44500	14830	11130	0,331	-

Таблиця Д.2 – Нормативна товщина стінки ожеледі

Район ожеледиці	I	II	III	IV
Товщина стінки ожеледі, мм	5	10	15	20

Примітка: Коефіцієнт перевантаження для визначення розрахункових навантажень від ожеледі (K_o) слід приймати: для контактних підвісок у I, II, III районах ожеледі – 1,3, у IV районі – 1,4.

Таблиця Д.3 – Нормативні вітрові навантаження на проводи контактної мережі, вкриті ожеледдю

Район СНД по ожеледі	1, 2, 3	4
Нормативне вітрове навантаження, Н/м	$0,147 \cdot (d + 2 \cdot a)$	$0,216 \cdot (d + 2 \cdot a)$

Примітка: 1. У таблиці Д.3 використані позначення: d - висота проводу, мм; a - товщина стінки ожеледі, мм (для контактного проводу приймають рівною половині стінки).
2. Коефіцієнт перевантаження для тиску вітру на проводи, покриті ожеледдю (K_e) приймають рівним 1,4.

Таблиця Д.4 – Розрахункові нормативні температури

Температура, t	Розрахункові температури, град, для кліматичних районів		
	I	II	III
Мінімальна	-50	-40	-30
Максимальна	+40	+40	+40
При ожеледі	-5	-5	-5
При максимальній швидкості вітру	+5	+5	+5

Таблиця Д.5 – Опори зовнішнього освітлення і контактних мереж міського транспорту

Марка стояка	Нормативне навантаження, Н	Відстань від місця додавання навантаження до рівня закладення стояка, м	Нормативний згинальний момент на рівні закладення стояка	
			$T \cdot m$	$K_H \cdot m$
СНЦ – 3,4 – 11,5	4000	8,5	3,4	34
СНЦ – 5,1 – 11,5	6000	8,5	5,1	51
СНЦ – 7,7 – 12	9000	8,5	7,7	77
СНЦ – 10 – 12	12000	8,5	10	100
СНЦ – 16 – 13	16000	10	13	130
СНЦ – 18 – 13	18000	10	13	130
СНЦ – 20 – 15,5	16000	12,5	15,5	155
СНЦ – 22,5 – 15,5	18000	12,5	15,5	155

Примітка: 1. Опора складається із стояка і кронштейна для підвіски ліхтарів вуличного освітлення.

2. Марка стояків складається з таких позначень:

«З» - стояк, «Н» - з арматурою, що напружується,

«Ц» - центрофугована зі стрижневою арматурою;

перша цифра означає нормативний момент $T \cdot m$ () на рівні земної поверхні;

друга цифра - повну довжину стояка (м).

Таблиця Д.6 – Металеві трубчаті опори міського транспорту

Тип опори	Довжина опори	Нормативне горизонтальне навантаження, Н	Висота прикладення навантаження від ґрунту, м	Діаметр, мм		Маса опори, кг	Глибина фундаменту, м
				верхній	нижній		
I	8,5	4000	7,7	107	163	305	1,8
II.	8,5	4000	7,7	168	219	380	1,8
III.	8,5	6000	7,7	219	273	465	1,8
IV.	8,5	9000	7,7	273	325	634	1,8
V.	10,5	4000	8,5	168	219	417	2,0
VI.	10,5	6000	8,5	219	273	510	2,0
VII.	10,5	9000	8,5	273	325	697	2,0
VIII.	10,5	12000	8,5	273	351	794	2,0
IX.	12,5	6000	10,0	219	325	778	2,5
X.	12,5	9000	10,0	273	351	943	2,5
XI.	12,5	12000	10,0	273	377	1017	2,5
XII.	15,0	9000	12,5	273	351	1122	2,5
XIII.	15,0	12000	12,5	273	377	1427	2,5

Таблиця Д.7 – Орієнтовані значення натягіння троса при безпровісному положенні контактного проводу, т

Матеріал несучого проводу	Число контактних проводів	$T_0, \% \text{ от } T_{\max}, \text{ при}$		
		$t_0 = -5 \text{ град}$	$t_0 = -10 \text{ град}$	$t_0 = -15 \text{ град}$
Мідь	1	70	75	80
Мідь	2	75	80	85
Сталь і біметал	1	80	83	85

ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ

Таблиця Д.8 – Варіанти завдань до рис. Д.1

№ Варіанта	R1, м	R2, м	L1, м	L2, м	L3, м	h _{кп} , м	Провід
1	30	55	4	10	5	6,2	МФ-100
2	35	50	5	15	6	6,1	МФ-85
3	40	45	4	20	7	6,0	МФ-65
4	45	40	5	25	5	5,9	МФ-100
5	50	35	4	30	6	5,8	МФ-85
6	55	30	5	35	7	5,7	МФ-65

Таблиця Д.9 – Варіанти завдань до рис. Д.2

№ Варіанта	R1, м	R2, м	L1, м	L2, м	h _{кп} , м	α^o	Провід
1	40	50	6	5	5.9	35	МФ-100
2	30	65	5	6	6.0	45	МФ-85
3	55	70	4	7	5.8	60	МФ-65
4	50	65	6	5	5.9	50	МФ-100
5	25	55	5	6	5.8	65	МФ-85
6	35	60	4	7	6.0	55	МФ-65

Таблиця Д.10 – Варіанти завдань до рис. Д.3

№ Варіанта	R1, м	R2, м	R3, м	L1, м	L2, м	L3, м	h _{кп} , м	α^o	Провід
1	30	55	70	5	7	10	6,2	60	МФ-65
2	35	50	65	4	6	15	5,7	30	МФ-85
3	40	45	50	5	7	10	6,1	45	МФ-100
4	45	40	65	4	5	20	5,6	40	МФ-65
5	50	35	60	5	6	25	6,0	50	МФ-85
6	55	30	55	4	7	15	5,8	35	МФ-100

Таблиця Д.11 – Варіанти завдань до рис. Д.4

№ Варіанта	R1, м	R2, м	R3, м	R4, м	L1, м	L2, м	L3, м	L4, м	h _{кп} , м	Провід
1	25	40	35	30	4	6	10	40	5,8	МФ-65
2	30	45	25	35	5	7	20	50	5,9	МФ-85
3	35	50	40	30	4	8	30	60	6,0	МФ-100
4	30	55	45	35	5	6	10	40	6,1	МФ-65
5	35	60	50	25	4	7	20	50	6,2	МФ-85
6	25	50	30	40	5	8	30	60	6,3	МФ-100

Таблиця Д.12 – Варіанти завдань до рис. Д.5

№ Варіанта	R1, м	R2, м	R3, м	R4, м	L1, м	L2, м	L3, м	L4, м	h _{кп} , м	Провід
1	30	20	25	35	5	7	15	45	6,2	МФ-65
2	30	35	40	25	4	6	10	55	5,7	МФ-85
3	45	30	35	25	5	5	30	40	6,1	МФ-100
4	40	35	25	30	4	7	25	35	5,6	МФ-65
5	35	30	25	40	5	6	20	60	6,0	МФ-85
6	25	25	30	35	4	5	35	65	5,8	МФ-100

Таблиця Д.13 – Варіанти завдань до рис. Д.6

№ Варіанта	R1, м	R2, м	R3, м	L1, м	L2, м	L3, м	h _{кп} , м	α^o	Провід
1	35	20	50	5	7	30	6,2	35	МФ-65
2	25	30	45	4	6	25	6,1	45	МФ-85
3	20	35	60	5	5	20	6,0	40	МФ-100
4	25	30	45	4	7	30	5,9	50	МФ-65
5	40	25	50	5	6	25	5,8	65	МФ-85
6	30	20	60	4	5	35	5,7	60	МФ-100

Таблиця Д.14 – Варіанти завдань до рис. Д.7

№ Варіанта	R1, м	R2, м	R3, м	L1, м	L2, м	L3, м	h _{кп} , м	α^o	Провід
1	30	30	45	5	30	7	6,2	20	МФ-65
2	35	35	50	4	25	6	6,1	30	МФ-85
3	40	40	60	5	20	5	6,0	25	МФ-100
4	25	25	65	4	30	7	5,9	25	МФ-65
5	30	30	70	5	25	6	5,8	40	МФ-85
6	45	45	55	4	35	5	5,7	30	МФ-100

Таблиця Д.15 – Варіанти завдань до рис. Д.8

№ Варіанта	R1, м	R2, м	R3, м	L1, м	L2, м	L3, м	h _{кп} , м	α^o	Провід
1	20	35	30	4	5	30	6,2	30	МФ-65
2	25	30	50	5	6	25	6,1	40	МФ-85
3	35	20	60	4	7	20	6,0	25	МФ-100
4	30	20	45	5	5	30	5,9	45	МФ-65
5	30	25	50	4	6	25	5,8	50	МФ-85
6	20	30	60	5	7	30	5,7	60	МФ-100

Таблиця Д.16 – Варіанти завдань до рис. Д.9

№ Варіанта	R1, м	R2, м	R3, м	L1, м	L2, м	L3, м	h _{кп} , м	α^o	Провід
1	35	25	40	4	7	10	6,0	70	МФ-65
2	30	30	30	5	6	15	6,1	60	МФ-85
3	25	35	35	4	5	30	5,9	75	МФ-100
4	30	35	40	5	6	35	5,8	65	МФ-85
5	35	25	30	4	7	30	5,9	50	МФ-100
6	20	30	35	4	5	20	6,0	55	МФ-65

Таблиця Д.17 – Варіанти завдань до рис. Д.10

№ Варіанта	R1, м	R2, м	R3, м	L1, м	L2, м	L3, м	L4, м	h _{кп} , м	α^o	Провід
1	35	40	25	4	6	30	10	6,1	15	МФ-85
2	30	35	40	5	7	25	15	6,2	30	МФ-100
3	25	30	35	4	8	35	20	6,0	40	МФ-65
4	30	45	40	5	5	30	15	5,9	30	МФ-65
5	35	30	35	5	7	35	10	5,8	25	МФ-85
6	25	35	40	4	8	30	20	5,7	20	МФ-100

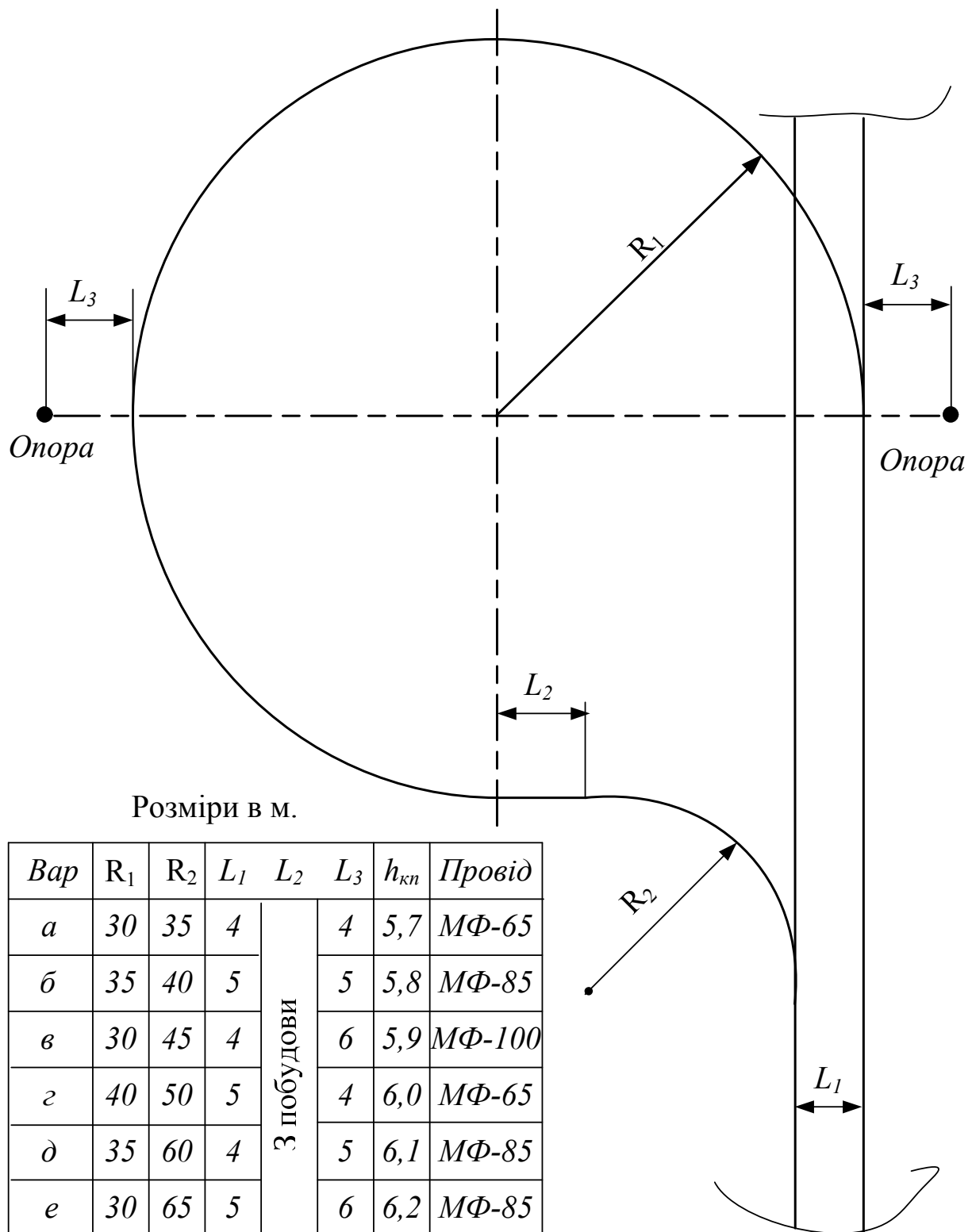


Рис. Д.1 – План мережі

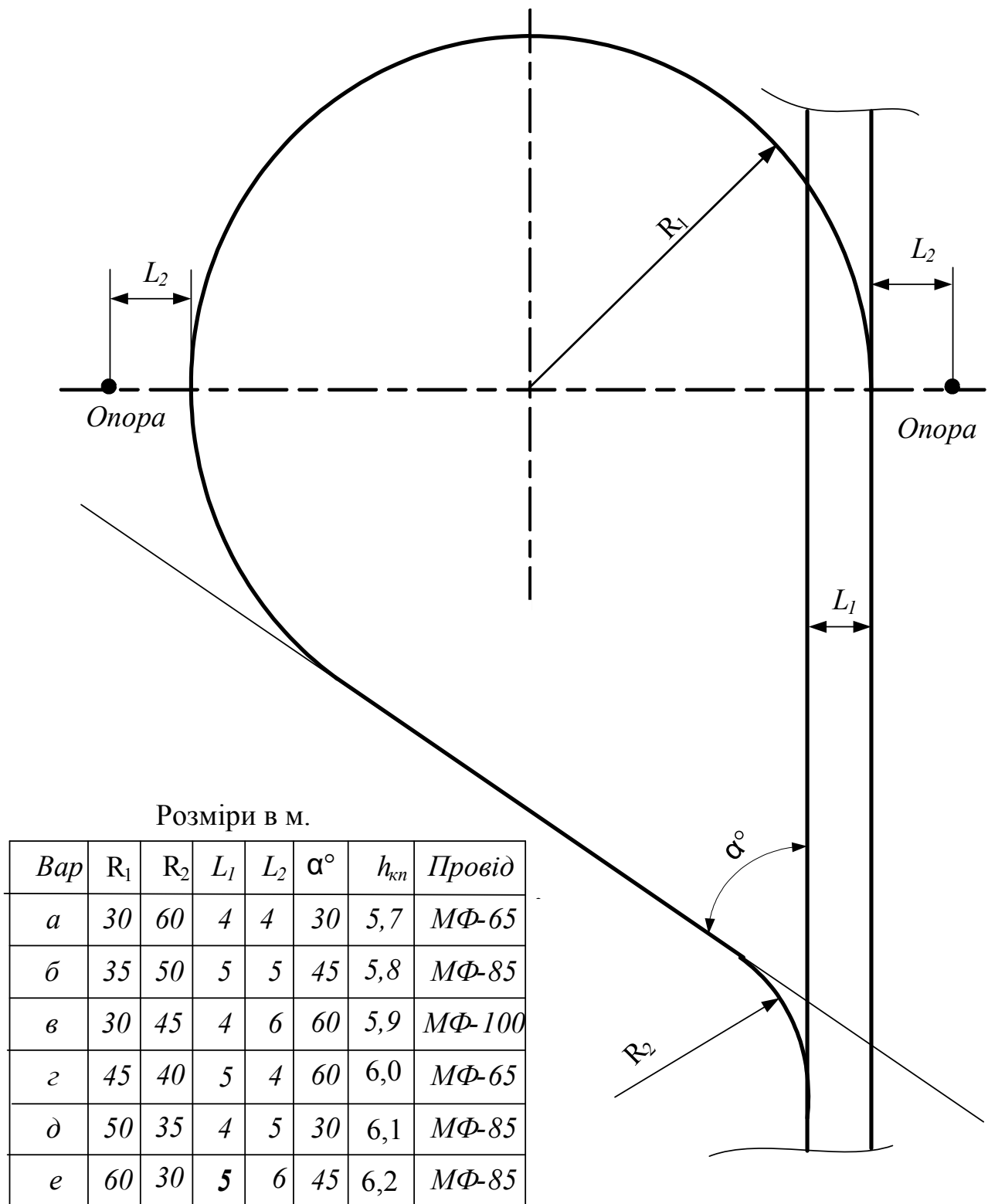


Рис. Д.2 – План мережі

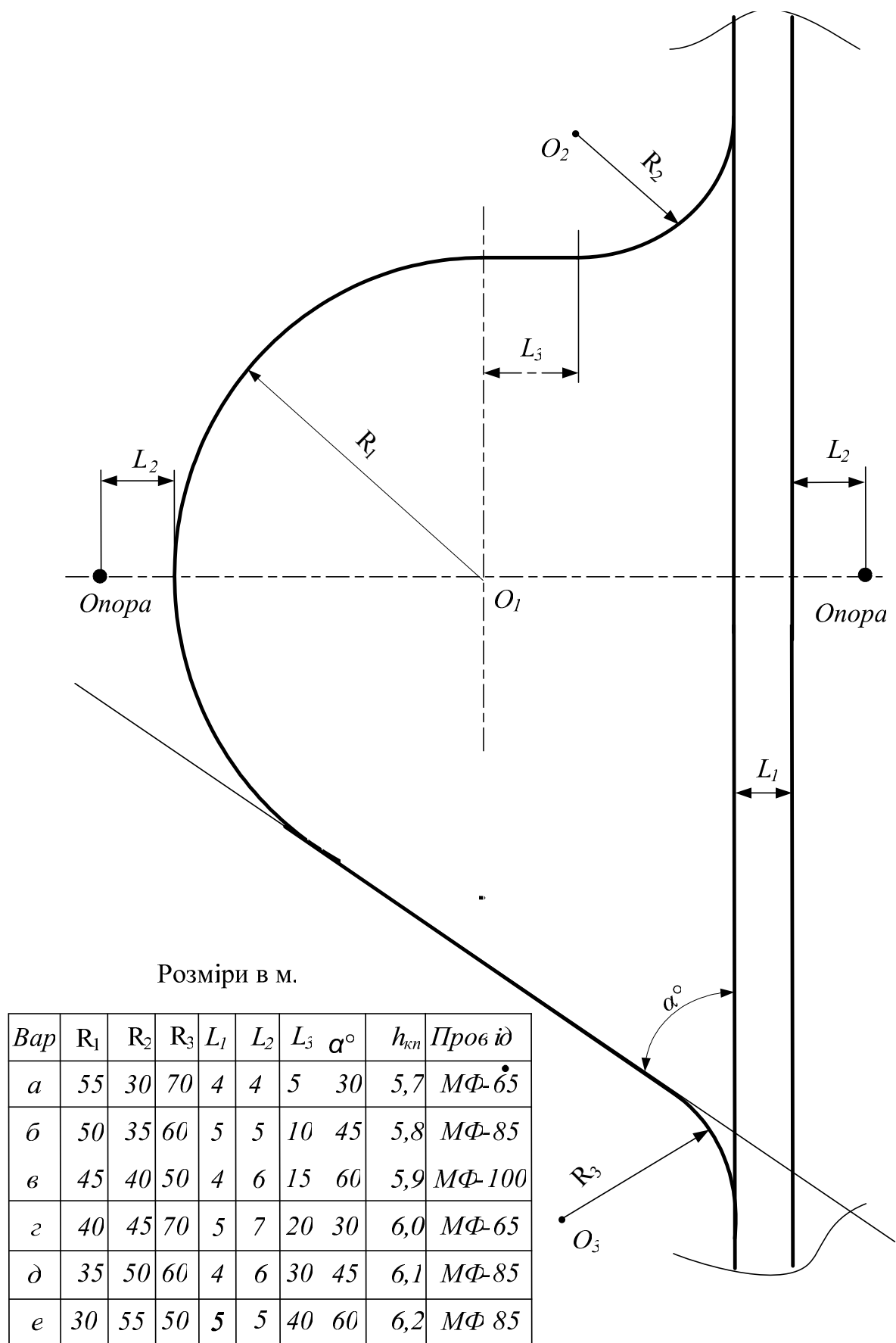


Рис. Д.3 – План мережі

Вар	R_1	R_2	R_3	L_1	L_2	L_3	L_4	$h_{\text{кр}}$	Провід
<i>a</i>	20	30	35	4	5	10	45	5,7	МФ-65
<i>б</i>	35	30	30	5	6	20	55	5,8	МФ-85
<i>в</i>	30	45	30	4	7	30	65	5,9	МФ-100
<i>г</i>	35	40	35	5	5	15	65	6,0	МФ-65
<i>д</i>	30	35	40	4	6	25	55	6,1	МФ-85
<i>е</i>	25	25	35	5	7	35	45	6,2	МФ 85

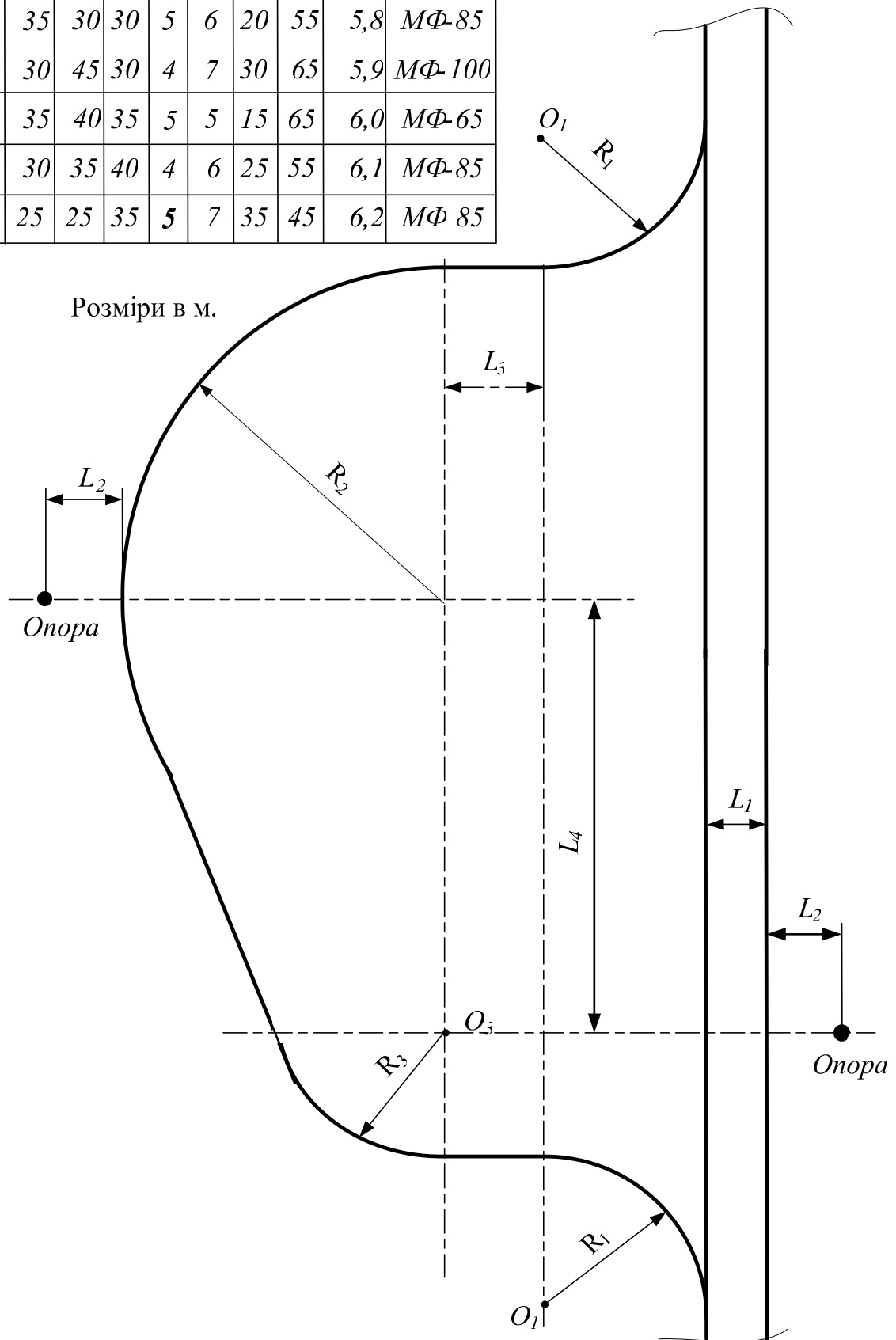


Рис. Д.4 – План мережі

Вар	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	h _{кр}	Провід
a	20	50	25	30	4	5	5	10	5,7	МФ-65
б	25	45	30	30	5	6	10	20	5,8	МФ-85
в	30	40	35	30	4	7	15	25	5,9	МФ-100
г	35	35	40	30	5	5	20	30	6,0	МФ-65
д	40	30	45	30	4	6	25	40	6,1	МФ-85
е	45	25	50	30	5	7	30	45	6,2	МФ-85

Розміри в м.

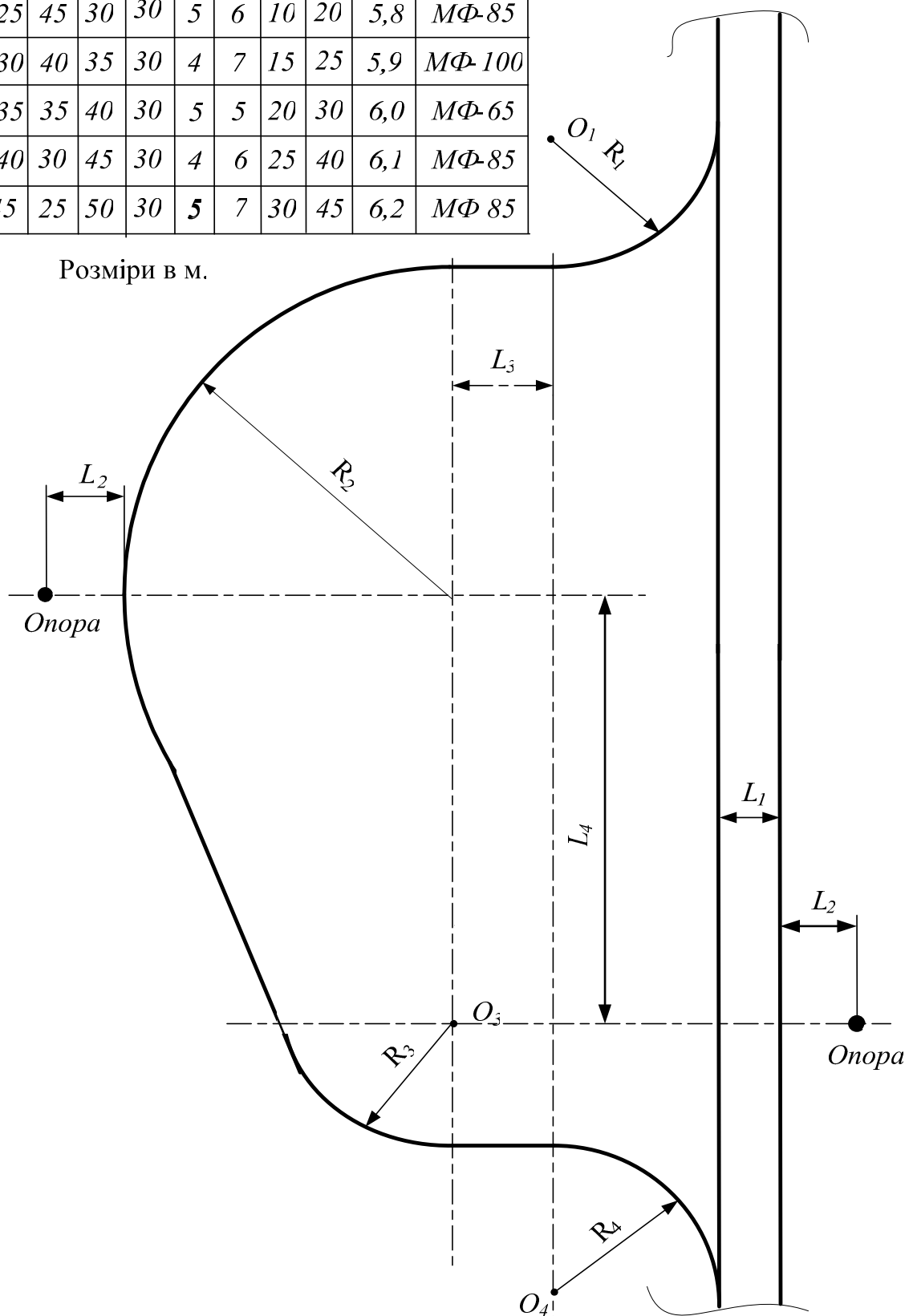


Рис. Д.5 – План мережі

<i>Вар</i>	R_1	R_2	R_3	L_1	L_2	L_3	α°	$h_{\kappa n}$	Провід
<i>a</i>	35	35	70	4	5	5	30	5,7	МФ-65
<i>б</i>	30	30	60	5	10	6	40	5,8	МФ-85
<i>в</i>	25	25	50	4	15	7	50	5,9	МФ-100
<i>г</i>	40	40	40	5	20	5	55	6,0	МФ-65
<i>д</i>	35	35	30	4	15	6	60	6,1	МФ-85
<i>е</i>	30	30	25	5	10	7	70	6,2	МФ 85

Розміри в м.

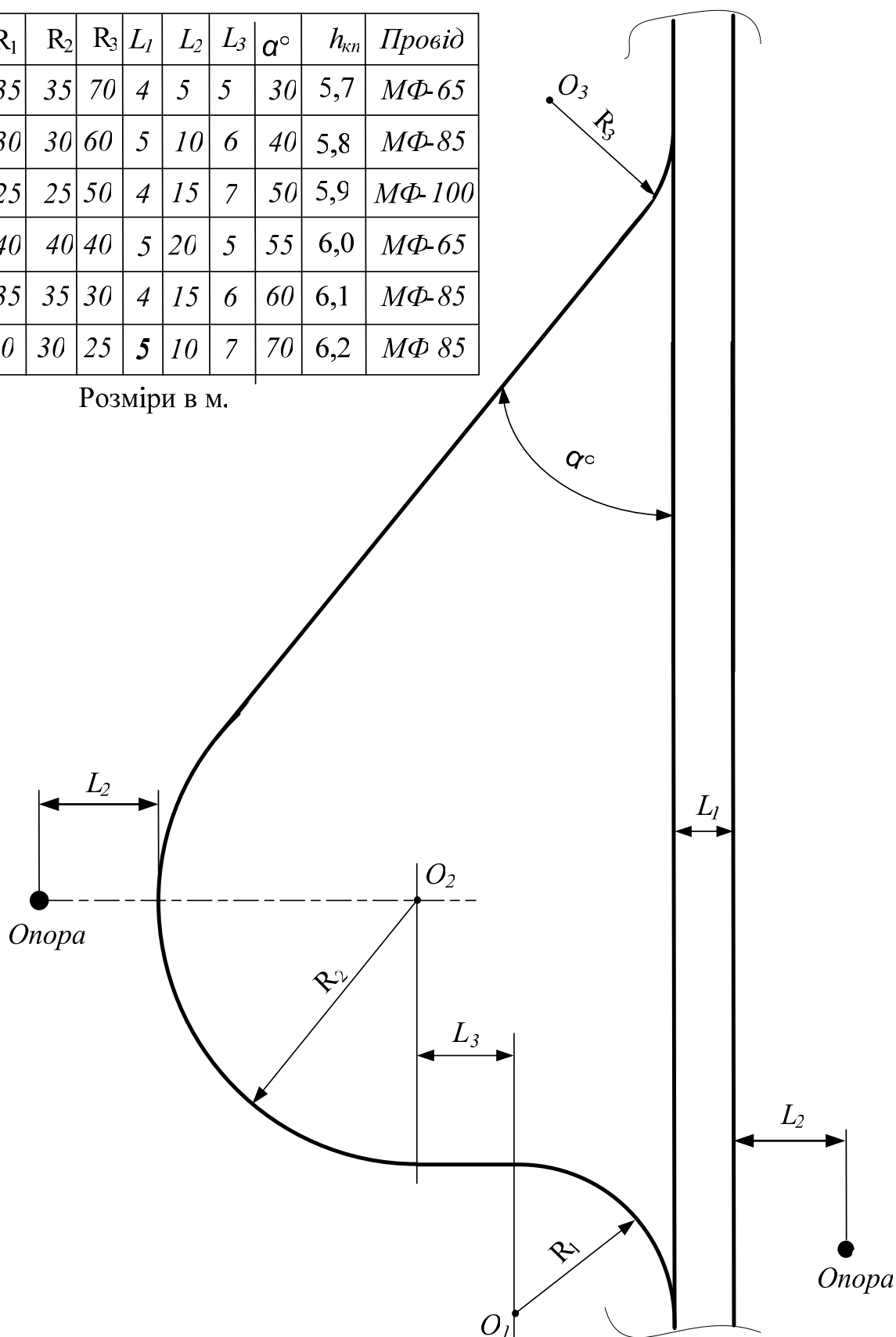
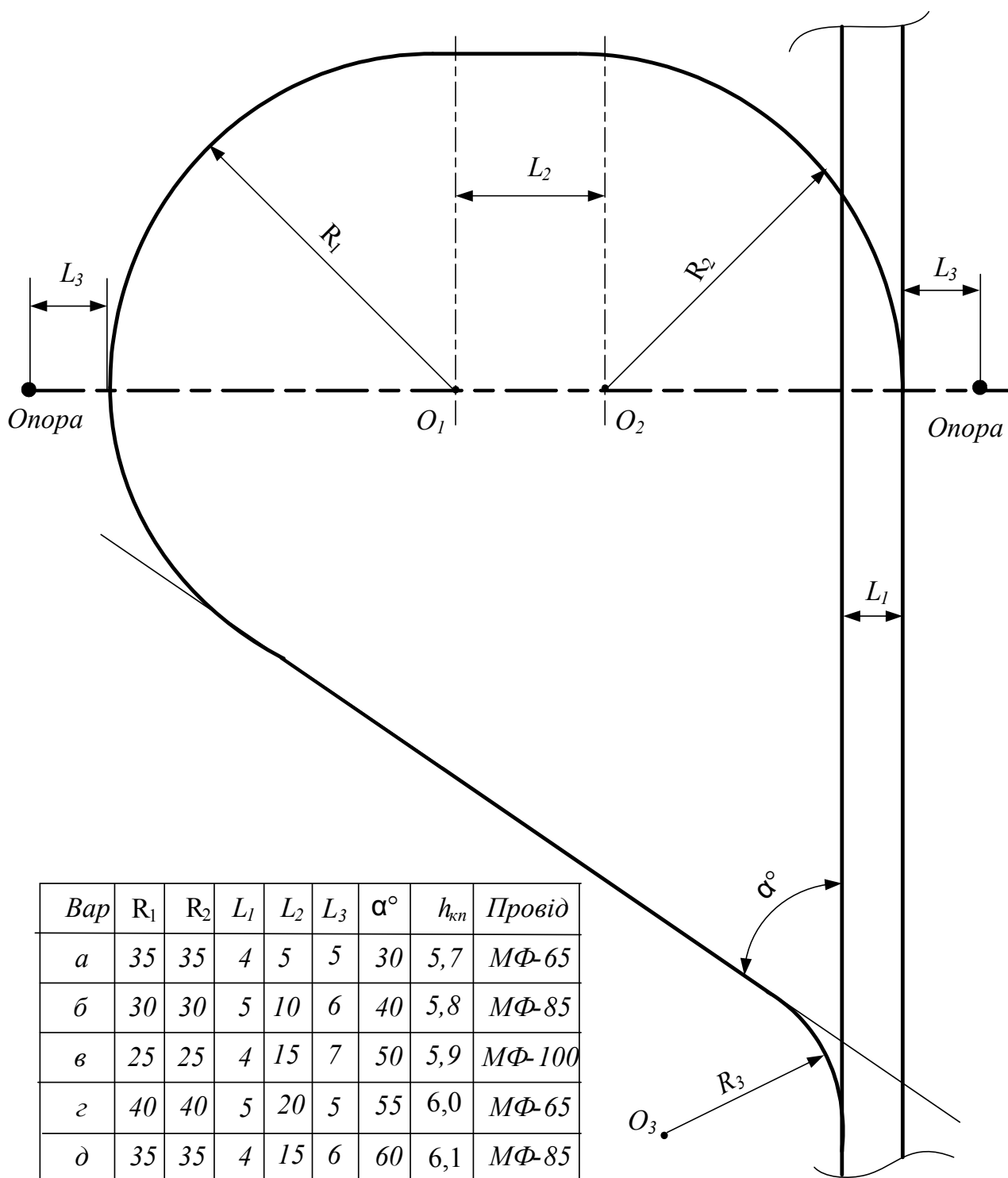


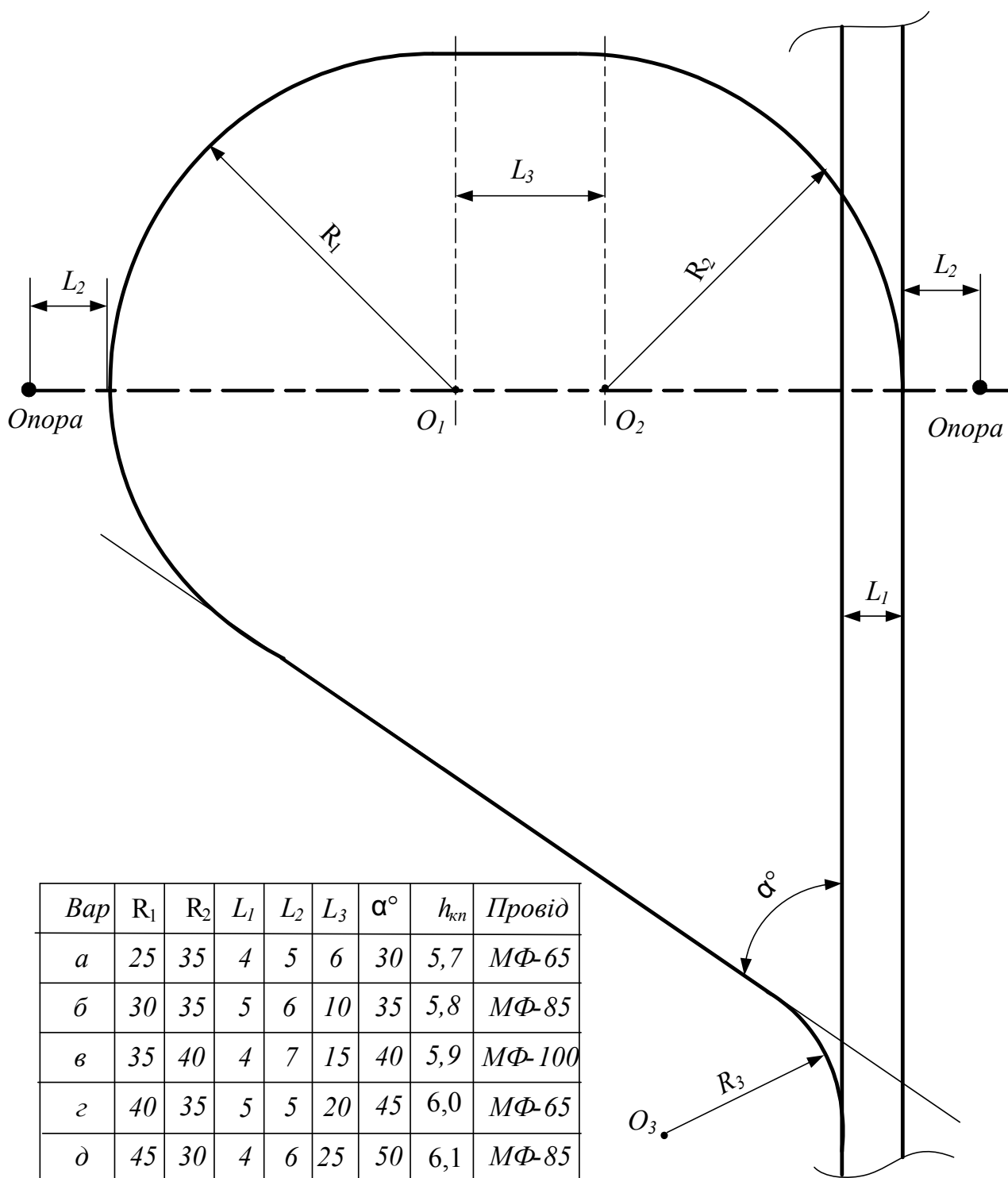
Рис. Д.6 – План мережі



Вар	R_1	R_2	L_1	L_2	L_3	α°	$h_{\text{кн}}$	Провід
а	35	35	4	5	5	30	5,7	МФ-65
б	30	30	5	10	6	40	5,8	МФ-85
в	25	25	4	15	7	50	5,9	МФ-100
г	40	40	5	20	5	55	6,0	МФ-65
д	35	35	4	15	6	60	6,1	МФ-85
е	30	30	5	10	7	70	6,2	МФ-85

Розміри в м.

Рис. Д.7 – План мережі



Вар	R_1	R_2	L_1	L_2	L_3	α°	$h_{\text{кн}}$	Провід
<i>a</i>	25	35	4	5	6	30	5,7	МФ-65
<i>б</i>	30	35	5	6	10	35	5,8	МФ-85
<i>в</i>	35	40	4	7	15	40	5,9	МФ-100
<i>г</i>	40	35	5	5	20	45	6,0	МФ-65
<i>д</i>	45	30	4	6	25	50	6,1	МФ-85
<i>е</i>	30	35	5	7	30	60	6,2	МФ-85

Розміри в м.

Рис. Д.8 – План мережі

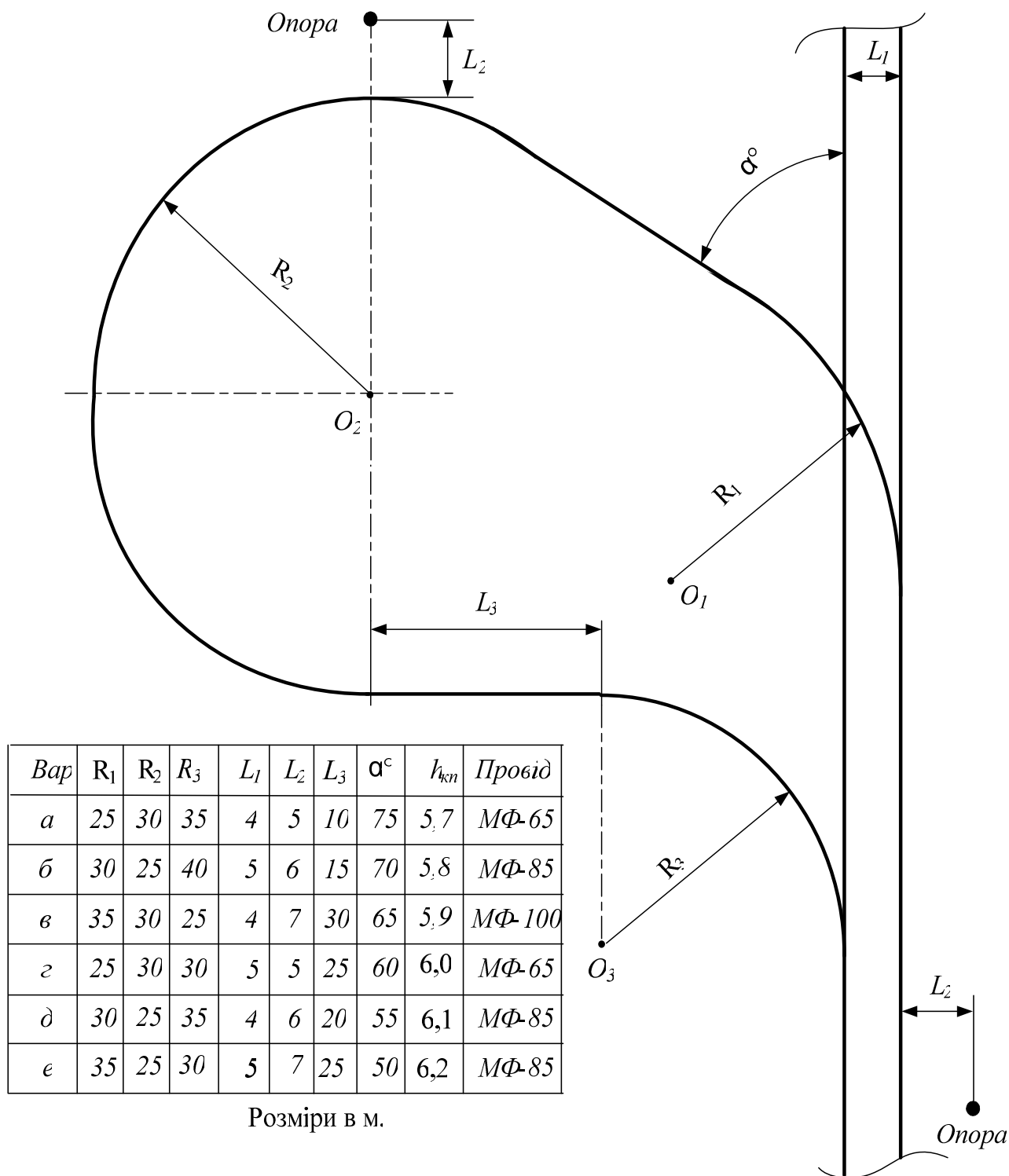


Рис. Д.9 – План мережі

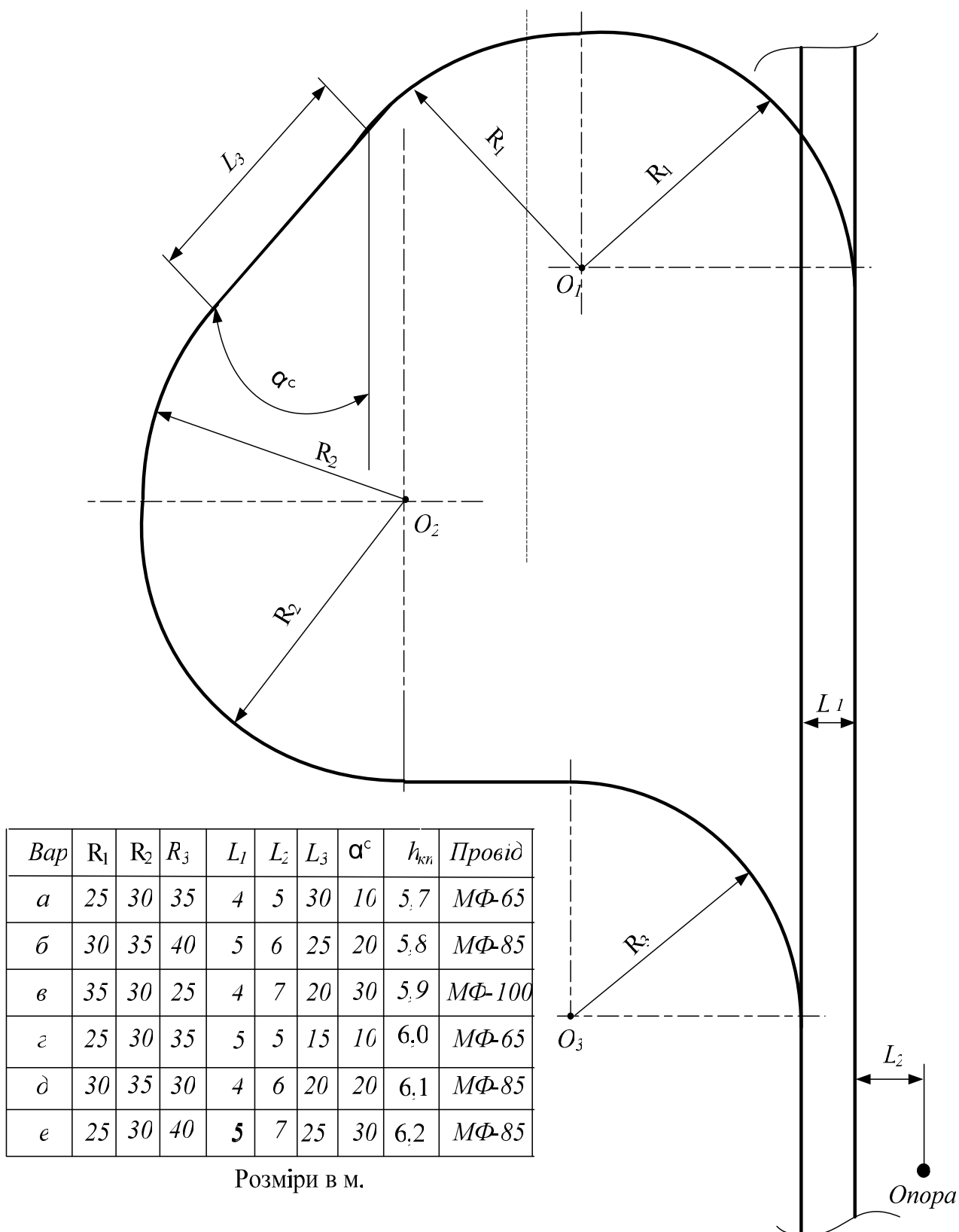


Рис. Д.10 – План мережі

2 РГР № 2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ

ВИХІДНІ ДАНІ ДО РОБОТИ

Вихідними даними для електричного розрахунку приладів електропостачання є схема (рис.2.1) і профілі транспортної мережі (табл.2.1), характеристики рухомого складу (табл.2.2), характеристики маршрутів (табл.2.3).

За порядковим номером в журналі групи вибирають за табл.2.1 профіль шляху, а за табл.2.2 - номери маршрутів для даного варіанта. За рис. 2.1 уточнюють схеми транспортної мережі відповідно до маршрутів вибраного варіанта. Дані (маршрути, дані розрахункових ділянок, ухили) задають на схему уточненої транспортної мережі, виконаними на аркуші А4.

У роботі введені такі скорочення:

ТП – тягова підстанція;

ТМ – тягова мережа;

КМ – контактна мережа;

РМ – рейкова мережа;

КП – контактний провід.

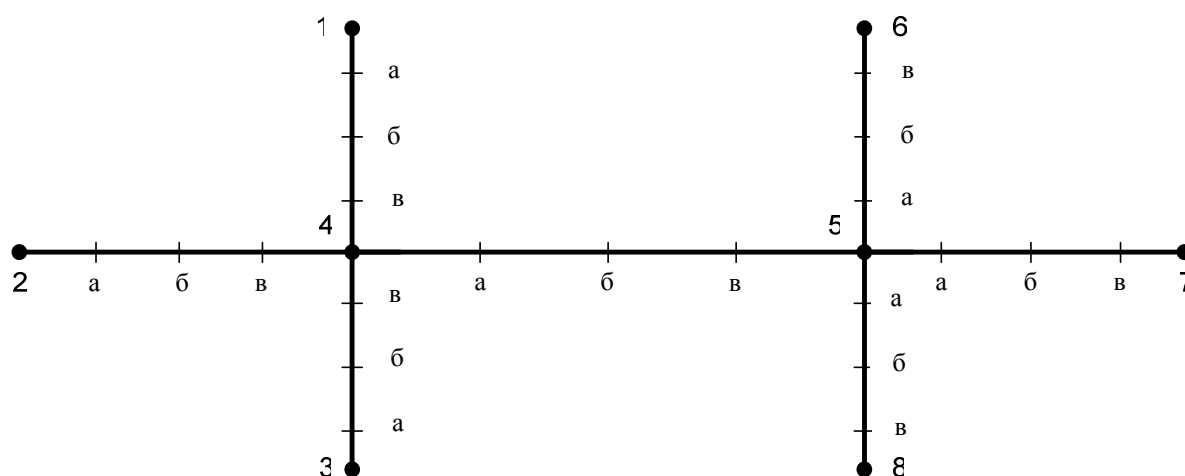


Рис.2.1 – Схема транспортної мережі

Таблиця 2.1 – Вихідні дані профіля шляху розрахункових діляниць

	1-4		2-4		3-4		4-5		5-6		5-7		5-8		
	Дов- жина, м	Ухил, %	Дов- жина, м	Ухил, %	Дов- жина, м	Ухил, %	Дов- жина, м	Ухил, %	Дов- жина, м	Ухил, %	Дов- жина, м	Ухил, %	Дов- жина, м	Ухил, %	
I	100	35	420	27	720	0	570	10	125	25	560	24	640	41	МФ-65 Р-50 l_п=400м
	150	0	360	30	250	25	630	17	510	19	670	0	540	0	
	300	20	280	0	340	35	490	18	590	12	430	27	640	17	
	400	15	530	17	550	0	510	0	430	0	520	23	390	36	
II	125	25	510	19	590	12	430	31	500	0	350	12	500	35	МФ-85 Т-60 l_п=450м
	300	35	270	0	340	23	680	25	530	36	640	0	270	10	
	500	0	530	36	630	0	710	17	630	0	480	21	680	25	
	600	15	440	12	450	0	510	0	710	17	340	23	530	36	
III	150	10	180	35	580	27	470	27	240	30	350	0	370	35	МФ-100 Т-60 l_п=500м
	240	30	710	21	390	36	510	0	710	21	430	14	360	10	
	640	40	540	0	280	0	640	17	390	36	540	12	720	25	
	370	28	360	17	720	23	580	10	510	0	720	13	510	36	
IV	300	23	270	20	500	25	540	18	300	35	420	0	450	14	МФ-65 Р-50 l_п=550м
	500	18	340	13	270	0	620	26	270	0	490	35	720	9	
	400	35	570	0	450	33	450	0	340	23	380	0	530	27	
	350	0	430	14	540	12	720	13	680	25	690	12	810	0	
V	450	14	720	9	530	27	810	12	600	15	630	10	400	15	МФ-85 Т-60 l_п=600м
	340	28	510	14	490	0	570	18	440	12	390	28	530	17	
	740	35	360	21	340	13	630	0	450	0	700	9	550	0	
	350	0	640	0	480	21	340	23	510	0	300	20	630	10	
VI	630	10	390	12	245	28	700	9	300	20	740	35	500	18	МФ-100 Р-50 l_п=500м
	350	18	580	27	720	36	580	17	280	0	360	21	340	23	
	420	0	490	35	380	0	690	11	340	35	340	23	620	26	
	560	24	670	0	430	17	520	23	490	18	630	0	680	0	

Таблиця 2.2 – Характеристики маршрутів

№ маршрутів	Дільниці маршрутів	Експлуат. швидкість Y, км/год.	Кількість машин	Тип ПС	Число годин роботи, год.
1	1-4-2	15,8	5	T-3	16,1
2	2-4-3	15,9	6	KTM-5M3	16,2
3	1-4-3	16,0	7	PB3-6M	16,3
4	1-4-5-6	16,1	11	T-3	16,4
5	1-4-5-7	16,2	12	KTM-5M3	16,6
6	1-4-5-8	16,3	13	PB3-6M	16,6
7	2-4-5-6	16,4	15	T-3	16,7
8	2-4-5-7	16,5	14	KTM-5M3	16,8
9	2-4-5-8	16,6	13	PB3-6M	16,9
10	3-4-5-6	16,7	11	T-3	17,0
11	3-4-5-7	16,8	17	KTM-5M3	16,0
12	3-4-5-8	15,4	16	PB3-6M	16,1
13	3-4-5	15,5	7	T-3	16,2
14	2-4-5	15,6	5	KTM-5M3	16,3
15	1-4-5	15,7	4	PB3-6M	16,4
16	6-5-7	15,8	5	T-3	16,5
17	7-5-8	15,9	6	KTM-5M3	16,6
18	6-5-8	16,0	8	PB3-6M	16,7
19	4-5-6	16,1	7	T-3	16,8
20	4-5-7	16,2	5	KTM-5M3	16,9
21	4-5-8	16,3	7	PB3-6M	17,0

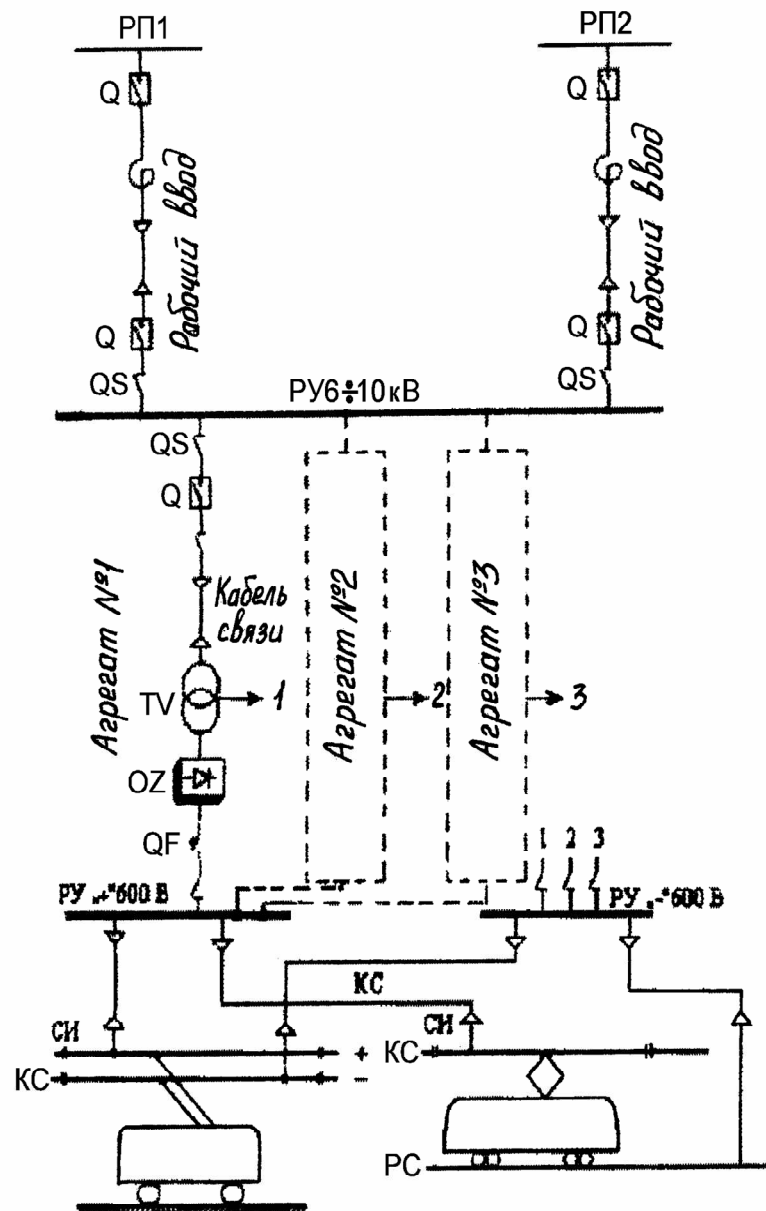


Рис. 2.2 – Схема електропостачання електрорухомого складу

Таблиця 2.3 – Варіанти завдань на розрахункову-графічну роботу № 2

Варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Маршрути	1	2	3	3	5	1	2	9	5	8	2	4	1	5	6	2	8	9	8	3	12	4	3	3	5
	7	8	6	4	10	6	7	10	10	12	9	7	4	12	14	7	6	15	10	11	14	13	5	6	7
	9	12	17	11	16	8	10	14	15	17	11	12	9	13	17	11	17	18	20	17	17	16	11	13	14
	17	21	20	16	20	15	13	18	16	21	20	18	21	21	19	19	20	19	21	21	20	20	21	18	20

2.1 Особливості режиму роботи й розрахунку приладів електропостачання

2.1.1 Схема і класифікація систем електропостачання міського електричного транспорту

Система електропостачання міського електротранспорту являє собою сукупність приладів, призначених для прийому, перетворення і розподілу енергії, що споживається рухомим складом. Загальна схема електропостачання рухомого складу показана на рис. 2.2. Тут можна виділити три елементи: первинну систему, тягову підстанцію (ТП) і тягову мережу (ТМ).

Системи електропостачання можна класифікувати за розміщенням ТП і характером внутрішніх взаємозв'язків; родом струму і величиною напруги; типом схем тягової мережі і т. д.

За характером внутрішніх взаємодій і розміщенням підстанцій слід розрізняти системи електропостачання централізовані й децентралізовані. У централізованій системі електропостачання кожна ТП здійснює автономне живлення ТМ без автоматичного розвантаження сусідніми підстанціями. У децентралізованій системі електропостачання кожна секція контактної мережі (КМ) в нормальному режимі живиться від двох сусідніх ТП і передбачає повне взаємне резервування ТП по проводах КМ без переключень у контактній мережі. При проектуванні електропостачання слід віддавати перевагу, як правило, живленню, що децентралізувалося, за винятком випадків, коли централізоване живлення має очевидні техніко-економічні переваги або застосування живлення, що децентралізувалося, пов'язане з технічними труднощами [1].

Прилади системи електропостачання вибирають на підставі результатів оптимізаційного техніко-економічного розрахунку, що визначає ефективність прийнятих параметрів за системою живлення.

Мета розрахунку електропостачання – визначення наступних даних, що характеризують оптимальний варіант системи заданого типу:

- 1) середні й ефективні навантаження елементів системи в нормальному і змушеному режимах;
- 2) місцеположення секційних ізоляторів;
- 3) переріз проводів контактної мережі і кабелів постійного струму, місцеположення пунктів приєднання позитивних і негативних живлячих кабелів до контактної і рейкової мережі і схема кабельних ліній;
- 4) падіння напруги в кабельній, контактній і рейковій мережах в нормальному і змушеному режимах;
- 5) втрати потужності в тяговій мережі в нормальному режимі;
- 6) місцеположення і встановлена потужність тягових підстанцій;
- 7) струми коротких замикань і уставки максимальних струмових захистів живлячих ліній.

Вибрані параметри приладів електропостачання повинні задовольняти всім технічним нормам і вимогам, визначати якість електроенергії і надійність живлення рухомого складу трамвая і тролейбуса.

Переріз проводів контактної мережі й кабелів постійного струму, місцеположення пунктів приєднання позитивних і негативних живлячих кабелів до контактної і рейкової мережі і схема кабельної лінії наносять на схему транспортної мережі.

2.2 Особливості режиму роботи МЕТ

До системи електропостачання трамвая і тролейбуса ставляться посилені вимоги щодо ТП, контактних, кабельних і рейкових мереж. Основні з цих вимог можна стисло сформулювати так: забезпечити високу надійності роботи приладів електропостачання при найвигідніших витратах на їх спорудження і експлуатацію.

Проблема забезпечення надійності роботи й підвищення економічних показників систем електропостачання показує, що необхідною умовою вирішення завдань є розробка цілого ряду теоретичних і експериментальних

питань. Це передусім розвиток методики електричних і економічних розрахунків, розробка нормативів розрахунку елементів системи, розробка нових елементів приладів живлення, нових систем електропостачання, розробка питань впливу тягових мереж на інші технічні споруди.

Тягові мережі й підстанції міського наземного електричного транспорту працюють в умовах, істотно відмінних від умов роботи стаціонарних силових електричних мереж. Ці відзнаки визначаються головним чином особливостями навантажень ТМ, що формуються накладенням струмів, які споживаються тяговими двигунами, власними потребами електричного рухомого складу.

Малі перегони, вулична ситуація, що постійно міняється призводить до зміни в широких межах від нуля до максимального значення струмів двигунів, міняється також полярність при рекуперації. У не менш мірі своєрідність умов роботи електропостачання, особливо контактної мережі, визначається безперервною зміною місць додавання електричних навантажень відповідно до руху поїздів уздовж ліній. Ця обставина призводить до зміни рівня напруги на струмоприймачі, а отже і на споживання електричної енергії і зворотний вплив на втрати напруги в мережі.

Електричні розрахунки приладів електропостачання є одним з основних засобів правильного вибору економічних обґрунтованих параметрів системи електропостачання, але водночас служить для перевірки відповідності вибраних параметрів системи електропостачання всім електротехнічним і протикорозійним вимогам і нормам, а також умовам реального здійснення заданого обсягу перевезень.

2.3 Послідовність проектування систем електропостачання

Порядок розрахунку приладів електропостачання визначається відповідно до його призначення. При зміні умов роботи існуючих мереж розрахунок є перевірочним. При цьому слід визначити:

- * ефективні струми в елементах системи з метою перевірки умов нагрівання проводів, кабелів і обладнання підстанцій;

- * максимальне падіння напруги в тяговій мережі, що повинно знаходитися в межах технічного нормованого значення;

- * розрахункові значення струмів у ланцюгах схеми при короткому замиканні в характерних точках мережі для вирішення питання про вибір лінійного і секційного захисту;

- * струморозподіл у рейковій мережі (для трамвая), за яким перевіряються режим роботи негативних живлячих ліній і дотримання норм падіння напруги в рейковій мережі.

За результатами перевіркового розрахунку слід розробити заходи щодо виконання усіх технічних нормативів і поліпшення розподілу навантажень в нормальному і змушеному режимах роботи системи електропостачання.

При проектуванні нових мереж й виборі параметрів систем засобом порівняння варіантів живлення необхідно:

- * у відповідно до конфігурації мережі і профілем траси мережі розбити на необхідне число елементарних розрахункових ділянок: мережу транспортних ліній ділять на ділянки за принципом однакових інтенсивностей руху і енергоспоживання поїздів. Таким чином, на плані визначають характерні точки, до числа яких відносять місця сходження і розгалуження ліній, поворотні кільця і з'їзди, переломи профілю шляху;

- * для кожної розрахункової ділянки визначити середній $I_{\text{ср}}$ і ефективний $I_{\text{еф}}$ струми поїзду (машини);

- * за заданою частотою руху на кожній розрахунковій ділянці, довжиною цієї ділянки l і величиною експлуатаційної швидкості V , рухомого складу визначити середнє число рухомих одиниць;

- * залежно від величини розрахункових поїздних навантажень і розмірів руху намітити пункти приєднання живлячих ліній і варіанти розташування тягових підстанцій з урахуванням місцезнаходження джерел живлення 6 – 10 кВ;

- * встановити точки струмозподілу для ділянок, що живляться з двох і більше сторін, визначити струмозподіл у системі й вибрати перерізи кабелів;

- * за значенням найбільш вигідного падіння напруги в негативних живильних лініях для трамваїв вибрати переріз кабелів і величину опору зрівняльних резисторів;

- * перевірити відповідність кожного наміченого варіанта електропостачання технічним нормативам;

- * вибрати робочу потужність підстанцій і спосіб їхнього резервування;

- * визначити річні втрати енергії в елементах системи для кожного варіанта живлення;

- * за нормативним терміном окупності здійснити економічне зіставлення варіантів електропостачання і вибрати найбільш вигідний з них.

Вибрані способом порівняння або способом безпосереднього розрахунку оптимальні параметри влаштування електропостачання необхідно остаточно перевірити на відповідність всім технічним вимогам. Крім того, на основі аналізу співвідношень між значеннями мінімального струму короткого замикання і розрахунковими максимальними навантаженнями треба визначити необхідність застосування додаткового захисту контактних проводів від малих струмів короткого замикання.

2.4 Параметри і схеми тягових мереж

Слід знати, що в контактних мережах МЕТ застосовують прості й ланцюгові контактні підвіски, а для метрополітену – контактні рейки. Для збільшення навантаженої спроможності секцій застосовують додаткові підсилювальні проводи. Основним елементом підвіски, з якої здійснюється струмоznім, є контактні проводи. Контактні проводи з міді і її сплавів виготовляють за ДГСТ 2584-63 [4].

Як несучі троти ланцюгових підвісок використовують сталеві (ПС), мідні (М), біметалеві сталюалюмінієві (ПБСА) і сталюмідні (ПБСМ) проводи стандартних перерізів. Підсилювальні проводи виконують з алюмінієвих (А) і

сталеалюмінієвих (АС, АСУ) тросів. Електричні параметри контактних проводів наведені в табл. 2.4.

У загальному випадку, коли для живлення КМ застосовують контактні проводи, несучий трос і підсилювальні проводи, розрахунковий переріз секції контактної мережі $S_{\text{кск}}$ включає: переріз контактних проводів $S_{\text{кп}}$, несучих тросів підвіски $S_{\text{нт}}$ і підсилювальних проводів $S_{\text{уп}}$, мм^2 [1]:

$$S_{\text{кск}} = n_{\text{кп}} \frac{S_{\text{кп}}}{K_{\text{МК}}} K_{\text{из}} + n_{\text{нт}} \frac{S_{\text{нт}}}{K_{\text{МН}}} + n_{\text{уп}} \frac{S_{\text{уп}}}{K_{\text{МУ}}}, \quad (2.1)$$

де $n_{\text{кп}}$, $n_{\text{нт}}$, $n_{\text{уп}}$ – число контактних, підсилювальних і несучих проводів;

$K_{\text{МК}}$, $K_{\text{МН}}$, $K_{\text{МУ}}$ – коефіцієнти мідного еквіваленту контактних, підсилювальних і несучих проводів (для міді $K_{\text{М}}=1$; алюмінія $K_{\text{М}}=1,65$);

$K_{\text{из}}$ – коефіцієнт, що враховує знос контактних проводів ($K_{\text{из}}=0.875$ – для трамвая, $K_{\text{из}}=0.925$ – для тролейбуса) [3,4].

Опір одного кілометра контактної мережі при температурі 20°C обчислюють за формулою, Ом/км:

$$\eta_{\text{кск}} = \frac{\rho_{20}}{S_{\text{кск}}}, \quad (2.2)$$

де $\rho_{20} = 18,87 = \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{км}}$ – питомий опір мідних проводів, при $t=20^\circ\text{C}$.

Правила технічної експлуатації трамваїв і тролейбусів (ПТЕ) [3,5] регламентують допустиму щільність струмів у мідних контактних проводах 5 А/мм^2 , у алюмінієвих – $6,5 \text{ А/мм}^2$ при нормальному режиму і 7 А/мм^2 - для змусеного режиму.

Опір одного кілометра рейкової мережі, враховуючи опір складених стиків, Ом/км:

$$r_p = \frac{1,2r_{p1}}{n_p}, \quad (2.3)$$

де $r_{p1} = 1,5/M_p$ - опір однієї суцільної рейки з масою M_p в кг/м , Ом/км;

n_p - число рейкових ниток (для одношляхових діляниць $n_p=2$, для двошляхових $n_p=4$);

1.2 - коефіцієнт, що враховує збільшення опіру рейкової мережі за наявності складених стиків.

Таблиця 2.4 – Електричні параметри контактних і підсилювальних проводів, несучих тросів

Марка проводу, матеріал	Перетин, мм ²	Опір, Ом/км	Допустиме навантаження проводу, А	
			нового	зношеного
Мідний МФ-65	65	0,25	325	225
МФ-85	85	0,208	425	310
МФ-100	100	0,177	500	350
Сталеалюмінієві ПКСА-80/180	80	0,21	525	480
Сталемідний СМ-85	85	0,53	240	200
СМ-100	100	0,45	275	—
Сталемідний ПБСМ1-70	70	0,731	148	—
ПБСМ1-95	95	0,563	190	—
Підсилювальні алюмінієві (сталеалюмінієві) А (АС, АСУ)				
А-120	120	0,27	375	—
А-150	150	0,21	440	—
А-185	185	0,17	500	—
Мідні М-120	120	0,158	485	—
М-150	150	0,123	570	—
М-185	185	0,103	640	—

Примітка. Опір сталевих несучих тросів у розрахунку не враховують.

Максимальні втрати напруги на різноманітних ділянках рейкової мережі в зоні однієї підстанції повинні бути близькими за своєю величиною.

Розрахунковий опір 1 км тягової мережі рейкового транспорту, Ом/км.

Якщо прийняти паралельне сполучення контактних рейок двох шляхів, звичайно використовують контактну рейку, переріз якої $S_{кр} = 660 \text{ мм}^2$, с $\rho_p = 0,12 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ або $r_p = 0,0182 \text{ Ом/км}$ [5].

Характеристики рейок, що застосовуються на МЕТ, наведені в табл.2.5.

Таблиця 2.5 – Параметри нових одиночних рейок (допустимий знос рейки до 10% від площі поперечного перерізу)

Тип рейки	Маса, кг/м	Площа поперечного перерізу в мідному еквіваленті, мм ²	Опір однієї нитки r _{рі} , Ом/км
P-38	38,4	410	0,0428
P-43	44,7	470	0,0378
P-50	51,5	540	0,0325
T-60(для прямих)	60,65	640	0,0296
T-65(для кривих)	64,75	680	0,0276

Живильні лінії тягової мережі виконують одножильними кабелями напругою до 1кВ. Застосовують кабелі марок АСБ-2К, ААБ-2К, АСБГ-2К, ААБГ-2К з алюмінієвими жилами і марок СБ-2К, АБ-2К, СБР-2К, АБР-2К з мідними жилами стандартних перерізів наведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Електричні параметри одножильних кабелів напругою до 1кВ при роздільній прокладці

Переріз кабелю, мм ²	Допустиме навантаження, А		Опір 10 ⁻³ Ом/км	
	Мідь	Алюміній	Мідь	Алюміній
300	1000	770	62,9	104,0
400	1220	940	47,2	78,0
500	1400	1080	37,7	62,4
625	1520	1170	30,2	49,9
800	1700	1310	23,6	33,0

Якщо в траншеї прокладено декілька кабелів, то умови охолодження погіршуються, тому зменшуються допустимі навантаження на кабелі. Виправні коефіцієнти, що враховують число кабелів, укладених в одній траншеї, наведені в табл. 2.7.

При роботі системи електропостачання в змушеному режимі допускається перевантаження кабелів в течію 5 доби в межах, указаних в табл. 2.8.

Таблиця 2.7 – Виправні коефіцієнти на число кабелів, складених в одній траншеї

Відстань у світлі, мм	Виправні коефіцієнти при числі кабелів					
	1	2	3	4	5	6
100	1	0,9	0,85	0,8	0,78	0,75
200	1	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1	0,93	0,9	0,87	0,86	0,85

Таблиця 2.8 – Допустиме перевантаження кабелів 0.6; 6 і 10 кВ

Коефіцієнт попереднього навантаження і вигляд прокладки	Допустиме перевантаження по відношенню до номінального при тривалості максимуму, год.		
	1	2	3
0,6			
в землі	1,5	1,35	1,25
в повітрі	1,35	1,25	1,25
в трубах (в землі)	1,3	1,2	1,15
0,8			
в землі	1,35	1,25	1,2
в повітрі	1,3	1,25	1,25
в трубах (в землі)	1,2	1,15	1,1

Таблиця 2.9 – Максимально допустимі втрати напруги в рейковій мережі

Тип основи рейкового шляху трамвая	Максимально допустимі втрати напруги при числі місяців у році зі середньомісячною температурою вище -5°C				
	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
Бетонна з рейками, що втоплені в бетон	1,2	0,8	0,6	0,5	0,4
Піщана із замощенням	6	4	3	2,5	2
Щебінчаста із замощеннями або піщана із шаром бітумінізованого піску під штучним покриттям (до ½ висоти шпал)	9,6	6,4	4,8	4	3,2
Бетонна з електроізоляцією корита бітумінованим піском шаром 10-12см	12	8	6	5	4
Шпально-піщана, шпально-щебінчаста без замощення	12	8	6	5	4

Схемою живлення і секціонування тягової мережі є загальна електрична схема, що зв'язує тягові підстанції, живильні лінії, секції контактної мережі й рейкову мережу. Правильно вибрана й обґрунтована схема тягової мережі значно визначає надійність, безпеку і економічність системи електропостачання в цілому.

Основним елементом тягової мережі є секція контактної мережі. Живлення секції може бути здійснене за схемою одностороннього (консольного) живлення з підключенням фідера на початку, в середині або в деякій іншій частині секції, або за схемою двостороннього (паралельного) живлення. Для контактної мережі трамвая і тролейбуса характерним є повне електричне сполучення контактних підвісок двошляхових ділянок. У метрополітені застосовують роздільне живлення контактних підвісок.

2.5 Електричні величини й нормативи

Слід знати, що мета проектування електропостачання – вибір надійних і економічних параметрів елементів і раціональних схем живлення і секціонування. Вибрані параметри повинні задовольняти всім технічним обмеженням, що забезпечують надійну роботу обладнання системи при регламентованих умовах його експлуатації в розрахунковому режимі, а також тривалість в аварійних ситуаціях. Розрахунковим режимом є змушений режим, зумовлений виходом з ладу в децентралізованій системі електропостачання – частини тягових підстанцій або кабелів за умови, що виведені з ладу підстанції не є сусідніми, а кабелі – суміжними за контактною мережею; в централізованій системі електропостачання – кожного з живильних кабелів 600 В (по черзі).

Розрахунок параметрів виконують на основі електричних величин, до числа яких відносять струмові навантаження, втрати напруги і потужності в елементах схеми електропостачання. У ході розрахунків визначають величини, для яких прийняті наступні умовні позначення:

I_0, I_3 – середні й ефективні струми поїздів, А;

n_0 – середнє число поїздів на розрахунковій ділянці;

$I_{\text{ло}}, I_{\text{лэ}}$ – середні й ефективні струми живильних ліній, А;

$I_{\text{лм}}$ – максимальні струми лінії, А;

$I_{\text{по}}, I_{\text{пэ}}, I_{\text{пи}}$ – відповідні струми підстанції, А;

$\Delta U_{\text{к}}, \Delta U_{\text{кт}}$ – втрати напруги на струмоприймачі за повний час руху і під струмом, В;

$\Delta U_{\text{р}}, \Delta U_{\text{рт}}$ – втрати напруги в рейковій мережі за повний час руху і під струмом, В;

$\Delta U_{\text{ло}}, \Delta U_{\text{лт}}$ – втрати напруги в живильних позитивних і негативних лініях, В;

$\Delta P, \Delta P_{\text{л}}, \Delta P_{\text{п}}$ – втрати активної потужності в секції контактної мережі, живильної лінії, агрегату, кВт.

Необхідно знати, що середні втрати напруги в ланцюзі від шин тягової підстанції до струмоприймача рухомого складу на будь-якій секції контактної мережі в режимі тяги при розрахунковій частоті руху й нормативному режимі живлення не повинні перевищувати 15% номінальної напруги в шинах тягової підстанції, тобто 90 В. У змушеному режимі максимальні втрати напруги в тяговій мережі не повинні перевищувати 170 В [3]

При розміщенні приєднання кабелів до рейок трамвая максимальне падіння напруги в рейках до найближчого приєднання кабелю, обчислене за середньодобовим навантаженням за місяці зі середньодобовою температурою вище -5°C , не повинно перевищувати значення, вказаного в табл. 2.9 (в відповідності з ДГСТ 9.015-74 і Інструкцією з обмеження струмів витоку з рейок трамвая ОНТИ АКХ, 1974) [1].

3 РОЗРАХУНКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН

3.1 Розрахунок поїздових струмів

Для розрахункової секції заздалегідь визначають числові характеристики поїздових струмів і кількість поїздів. При виконанні тягових розрахунків поїздові струми I_0, I_3 і коефіцієнт $J = T_d / T_t$ визначають за кривими (t) . Якщо розрахунки не проводяться, то для оцінки витрату енергії поїздів можна використати аналітичну формулу [8] або методику АКХ [1].

Питома витрата енергії на струмоприймачі рухомого складу за методикою АКХ [1]

$$a = a_0 \cdot k_i \cdot k_v \cdot k_m + a_b, \quad (2.8)$$

де a_0 - вхідна норма питомої витрату електроенергії при замірі на струмоприймачі для середніх умов вуличного руху на горизонтальному профілі, Вт год/т км (табл.3.1)

k_i - коефіцієнт ваги, що враховує вплив профілю;

k_v - коефіцієнт, що ураховує вплив швидкості руху;

k_m - коефіцієнт врахування метеорологічних умов;

a_b - питомі витрати електроенергії на власні потреби рухомого складу, Вт* год/км.

Коефіцієнти визначають за формулами

$$k_i = 1 + 0,02 i_3,$$

$$k_v = 1 + p \cdot (V_3 - V_0) / V_0; \quad (2.9)$$

$$k_m = k_c + k_t + 1,$$

де i_3 - еквівалентний ухил розрахункової ділянки, ‰;

p - коефіцієнт (для тролейбуса $p=1$, для трамвая $p=1.2$);

$V_{э}$ – експлуатаційна швидкість, км/год;

V_0 – опорна експлуатаційна швидкість, при якій визначене a_0 , км/год;

$k_c = (0 - 0,06)$ – коефіцієнт врахування сніжного покриву (при сніжних покривах 60 см і більше $k_c = (0,05 - 0,06)$; (40 – 59)см – $k_c = (0,03 - 0,04)$; (20 – 39) см – $k_c = (0,01 - 0,02)$; менше 20 см - $k_c = (0 - 0,01)$);

$k_{\tau} = 0,005(\tau - 5^{\circ}\text{C})$ – коефіцієнт, що враховує температуру кліматичного району;

τ – середньорічна температура за останні 50 років, $^{\circ}\text{C}$.

Дані про вхідні норми видтрати енергії для різних типів рухомого складу наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Вхідні норми видтрати електроенергії

Показник	Позначення	Значення показника для рухомого складу					
		Трамвай			Тролейбус		
		РВЗ-6М	Т-3	КТМ-5МЗ	ЗИУ-5	ЗИУ-9	ДАК217Е
Вхідна норма на рух, Вт.год/т.км	a_0^*	97	108	86	155	150	160
Видаток енергії на особисті потреби, Вт.год/км	$a_B G_{п}^{**}$	83	340	180	120	178	180

Примітка: *Величина a_0 наведена для швидкості руху трамвая $Y_0=15\text{км/год.}$ і швидкості тролейбуса $Y_0=16\text{ км/год.}$

** Тара одиниці рухомого складу, т (табл.3.2).

Таблиця 3.2 – Характеристика рухомого складу

Тип вагону	Y_T , км/год	a_T , м/с ²	Y_n , км/год	a_n , м/с ²	K_n	K_n	m пасажирів	G, т	η_{cp}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РВЗ-6М	25	1,3	24	1,2	1,14	1,0	119	16,0	0,82
Т-3	20...25	1,0	24...26	1,8	1,2	1,0	110	16,3	0,82
КТМ-5М	25	1,5	20	1,5	1,15	1,0	140	18,0	0,85
ЛТ-10	25	1,6	21	1,6	1,15	1,0	180	20,5	0,88
Тр-9	25	1,25	20	1,3	1,17	1,0	75	8,9	0,85
ЗИУ-5	28	1,4	22	1,35	1,14	1,0	90	10,2	0,83
ЗИУ-9	25	1,2	20	1,2	1,15	1,0	120	9,0	0,85
ДАК217Е	25	1,5	21	1,4	1,16	1,0	156	14,8	0,91

Середній струм поїзду за час руху T_d по ділянці l_s , А:

$$I_o = \frac{aGl_s}{U_{TC}T_d} = \frac{aGV_c}{U_{TC}}, \quad (2.10)$$

де G – маса поїзду при нормальному наповненні вагону, т,

$$G = G_n + 0.07 \cdot m, \quad (2.11)$$

де m – місткість вагону;

U_{TC} – середня напруга на струмоприймачі, В;

V_c - швидкість повідомлення, км/год.

3.2 Аналітичний розрахунок тягових навантажень

Навантаження мережі при аналітичному розрахунку визначають через питомі витрати електричного навантаження на рух РС по окремих розрахункових ділянках лінії. Межами розрахункових ділянок служать точки розгалуження ліній, місця закінчення маршрутів і точки різкої зміни поздовжнього профілю траси, в тому числі в межах розрахункової ділянки зберігаються приблизно незмінна (на одиницю довжини) питома витрата електроенергії на рух КМ. Для кожної розрахункової ділянки визначають витрату електроенергії на рух потягу в обидва напрями, Вт·год/поїзд·ділянка:

$$A_p = \frac{2 \cdot 9,81}{3600} \cdot G \left\{ \frac{(\omega_0 + i_s) \cdot l_p}{\eta_d} + p \cdot q \left[\frac{V_n^2 \cdot K_n}{2 \cdot 3,6^2} \left(\frac{10^3 \cdot K_u}{9,81} + \frac{\omega_0}{a_n} \right) + \frac{V_T^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot \eta_q} \left(\frac{10^3 \cdot K_u}{9,81} - \frac{\omega_0}{v_T} \right) \right] \right\} + A_{cn}$$

де ω_0 - основний питомий опір руху залежно від типу РС;

l_p - довжина розрахункової ділянки в одному напрямі, м;

i_s - еквівалентний підйом ‰;

p - коефіцієнт, що характеризує додаткові пуски і гальмування, приймається рівним (1,2 ÷ 1,5);

q - кількість перегонів на ділянці;

η_q - ККД тягового електродвигуна і передавальних механізмів, залежно від типу РС;

V_n - швидкість виходу на автоматичну характеристику, км/год;

V_T^2 - швидкість початку гальмування, км/год;

K_n - коефіцієнт, залежний від системи пуску і рівний 1-при відсутності і 0,5-при наявності послідовно-паралельного пуску;

K_u - коефіцієнт інерції маси вагону, що обертаються, рівний (1,1 ÷ 1,2);

v_T - уповільнення при гальмуванні, м/с²;

a_n - прискорення при пуску, м/с²;

A_{en} - витрата електроенергії на власні потреби потягу, Вт·год/поїзд.
ділянка;

G - маса потягу при середньому наповненні, т.

Технічні характеристики надані в таблиці 3.2.

Як впливає з останнього виразу, питома витрата електроенергії залежить від еквівалентного підйому розрахункової ділянки.

Середній еквівалентний підйом ділянки о/оо :

для одностороннього руху

$$i_{\text{ср}} = \frac{1}{l_p} \left(\sum i_n \cdot l_n + \sum \omega_k \cdot l_k - \sum i_{\text{бс}} \cdot l_{\text{бс}} - \omega_0 \sum l_{\text{вс}} \right);$$

для двостороннього руху:

$$i_{\text{ср}} = \frac{1}{2 \cdot l_p} \left(\sum i_{\text{в}} \cdot l_{\text{в}} + \omega_0 \sum l_{\text{в}} + 2 \sum \omega_k \cdot l_k \right),$$

де l_k і i_n - довжина, м і ухил о/оо, всіх підйомів у напрямі руху;

$l_{\text{бс}}$ - довжина, м і ухил о/оо, всіх нешкідливих ухилів у напрямі руху;

$i_{\text{в}}$ - значення шкідливих ухилів, тобто таких ухилів, які по абсолютному значенню більше основного питомого опору руху о/оо;

$l_{\text{в}}$ - довжина верхнього ухилу, м;

l_k - довжина кривої, м;

$l_{\text{вс}}$ - довжина шкідливого спуску у напрямі руху, м;

ω_k - питомий опір руху від кривих: $\omega_k = 530 / R_k$ - для двовісних;

$\omega_k = 420 / R_k$ - чотирьох вісних;

R_k - радіус кривої, м.

Витрату електроенергії на власні потреби (ВП) вимірюють у Вт·год/поїзд.деліанка.

$$A_{cn} = \frac{P_{cn} \cdot 2 \cdot L}{V_{\text{э}}},$$

де $V_{\text{э}}$ - середня експлуатаційна швидкість км/год;

P_{cn} - потужність споживачів ВП, Вт, підраховується для кожного типу РС.

Розрахувавши витрату електроенергії A_{pi} на рух РС i -го типу по розрахунковій ділянці, визначаємо навантаження на неї

$$I_{\text{уч}} = \frac{\sum A_{pi} \cdot N_i}{U_c}, \text{ А},$$

де U_c - середня напруга в мережі, В;

$N_i = \frac{n_i \cdot V_{\text{э}}}{2 \cdot L_{mi}}$ - частота руху потягів на ділянці, поїздів/год

L_{mi} - довжина i -го маршруту по осі вулиці, км;

n_i - кількість потягів на i -му маршруті.

3.3 Розрахунок навантажень за даними експериментів

За відсутності результатів тягових розрахунків або всіх необхідних даних для аналітичного розрахунку тягових навантажень слід користуватися даними, одержаними узагальненням ходових випробувань РС і статистичних показників роботи експлуатованих систем електропостачання. Середній струмна розрахунковій ділянці визначають за базовим струмом, приведеним до експлуатаційної швидкості трамвая, тролейбуса $V = 17 \text{ км/год}$, еквівалентному ухилу $i_s \leq 5 \text{ ‰}$ і середній довжині перегону $l = (350 \div 400) \text{ м}$ з урахуванням споживання струму на власні потреби одиниці РС (табл. 3.3)

Таблиця 3.3 – Базові значення струмів

Показники	Тип рухомого складу								
	Т-3 КТУ-СУ	КТМ-5МЗ	РВЗ-6М	РВЗ-7	ЗИУ-5	ЗИУ-9Б	ЗИУ-9В	Тр-9	ДАК217Е
Базовий струм I_0, A									
взимку	78	71	80	80	74	74	92	70	120
влітку	72	65	74	74	64	64	80	60	85
α_δ	2,4	2	2,5	2,5	1,8	2	2	1,8	1,9
β_δ	3,5	3,6	3,2	3,2	3	3	3,2	2,5	3
Середній струм на власні потреби $I_{сн}, A$									
взимку	27	29	5	25	11	18	18	15	16
влітку	9	11	6	7,5	4,5	7,5	7,5	6	7

Перерахунок довжин інших умов розраховують за формулою [8]:

$$I = \kappa_i \cdot \kappa_y \cdot \kappa_r \cdot \kappa_n \cdot I_0 + I_{сн} \quad (2.12)$$

де κ_i - поправка на ухили $i_\gamma \geq 5 \text{ ‰}$; $\kappa_i = 1 + 0,02i_\gamma$;

κ_y - поправка на багатопускові режими за утруднених умов руху (за наявності кривих спецчастин КМ, жвавих перехресть);

$\kappa_y = 1,15$ - для трамвая; $\kappa_y = 1,1$ - для тролейбуса;

κ_r - поправка на експлуатаційну швидкість $V_\gamma > 16 \text{ км/ч}$ - для трамвая і $V_\gamma \geq 17 \text{ км/ч}$ - для тролейбуса ($\kappa_v = 0,062 \cdot V_\gamma$ - для трамвая, $\kappa_v = 0,058 \cdot V_\gamma$ - для тролейбуса);

κ_n - поправка на довжину перегону якщо $l > 350 \text{ м}$:

$$\kappa_n = \frac{22}{\sqrt{l}} - 0,175.$$

Ефективний струм потягу визначають за коефіцієнтом ефективності:

$$\kappa_{\text{г}} = (1,03 \div 1,07) \sqrt{\alpha}$$

$$I_{\text{г}} = \kappa_{\text{г}} \cdot I_0$$

Дисперсія струму потягу:

$$D_I = I_0^2 \cdot \beta,$$

де α – відношення повного часу роботи одиниці РС на лінії до часу споживання його з мережі енергії на рух (α зворотна вірогідність тягового режиму рухомої одиниці)

$$\alpha = \alpha_n \left(\frac{21,5}{V_{\text{г}}} - 0,35 \right),$$

σ – відношення дисперсії струму рухомої одиниці до квадрата її середнього струму (σ рівна квадрату коефіцієнта [3] струму потягу)

$$\beta = \beta_{\sigma} \left(\frac{33,3}{V_{\text{г}}} - 1,08 \right).$$

При русі в багатопусковому режимі α і β , слід зменшити в два рази.

3.4 Розрахунок числа поїздів і навантажень на ділянках

Середнє число поїздів n_s на розрахунковій ділянці l_s при заданій частоті руху N і величині експлуатаційної швидкості $V_{\text{э}}$ [1]

$$n_s = \frac{l_s}{V_{\text{г}}} N, \quad (2.13)$$

де l_s – довжина s-ї розрахункової ділянки, км;

$V_{\text{г}}$ – експлуатаційна швидкість поїздів, км/год;

N – число поїздів на розрахунковій ділянці в одиницю часу.

Якщо відомості про рух поїздів по розрахунковій ділянці задані переліком маршрутів, для яких вказані довжини маршрутів L_{mj} , число поїздів на маршруті m_j , то у випадку до маршрутів по ділянці, середнє число поїздів з урахуванням рівномірного розподілу по довжині маршруту

$$n_s = l_s \sum \frac{n_{m\gamma}}{L_{m\gamma}}, \quad (2.14)$$

де n_{mj} – число поїздів на **j**-му маршруті;

L_{mj} – довжина j-го маршруту, км.

Відомості про рух поїздів можуть задаватися міжпоїздовими інтервалами t_{nj} або числом поїздів в одиницю часу для кожного маршруту $N_j = 1/t_{nj}$. Тоді число поїздів на ділянці

$$n_s = T_{oc} \sum_{\gamma=1}^k \frac{1}{t_{n\gamma}} = \frac{l_s}{V_{\gamma}} \sum N_{\gamma}, \quad (2.15)$$

де T_{oc} – час руху поїзду по розрахунковій ділянці, хв;

t_{nj} - інтервал між поїздами j-го маршруту, хв;

N_j – число поїздів в одиницю часу для j-го маршруту.

Середнє навантаження на розрахунковій дільниці визначається за кількістю поїздів на цій ділянці:

$$I_{os} = I_o \cdot n_s, \text{ A} . \quad (2.16)$$

Отримані за формулою (2.16) навантаження задають на розрахункову схему тягової мережі.

Результати розрахунків навантажень заносимо у табл. 3.4.

Таблица 3.4 – Результати розрахунків навантажень

№ ділянки	Расчетный участок	Длина расчетного участка, м	Уклон	Количество машин по маршрутам				Базовый ток, I _б , А				Ток собственных нужд, I _{сн} , А				Коэффициенты				Ток одной машины, I _о , А				Средний ток на расчетном участке, I _{ср} , А				Суммарный ток на расчетном участке, А
				M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	K _i	K _v	K _n	K _y	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1 – 4	1 – а																											
	а – б																											
	б – в																											
	в – 4																											
2 – 4	2 – а																											
	а – б																											
	б – в																											
	в – 4																											
3 – 4	3 – а																											
	а – б																											
	б – в																											
	в – 4																											
4 – 5	4 – а																											
	а – б																											
	б – в																											
	в – 5																											
6 – 5	6 – а																											
	а – б																											
	б – в																											
	в – 5																											
7 – 5	7 – а																											
	а – б																											
	б – в																											
	в – 5																											
8 – 5	8 – а																											
	а – б																											
	б – в																											
	в – 5																											

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тарнижевский М.В., Томлянович Д.К. Проектирование устройств электроснабжения трамвая и троллейбуса. - М.: Транспорт, 1986. -376 с.
2. Контактные и кабельные сети трамваев и троллейбусов / А.С.Афанасьев, Г.П. Долаберидзе, В.В.Шевченко. – М.: Транспорт, 1979. - 256 с.
3. Электротехнический справочник: В 3 т. / Под общ.ред. И.Н.Орлова. - 7-е изд., испр. и доп. -М.: Энергоатомиздат, 1988. - Т.3. - Кн.2 (Использование электрической энергии). - 618 с.
4. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию:
В 2 т. / Под общ.ред. А.А.Федорова. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - Т.2 (Электрооборудование). - 592 с.
5. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. - 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1987, - 648 с.
6. Афанасьев А.С. Тяговые сети трамвая и троллейбуса (Учеб для техникумов). - М.: Стройиздат, 1974. - 368 с.
7. Афанасьев А.С. Контактные сети трамвая и троллейбуса: Учебник для СПТУ.-М.: Транспорт, 1988.-264 с.
8. Шевченко В.В., Арзамасцев Н.В., Бодрухина С.С. Электроснабжение наземного электрического транспорта: Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічних робіт з курсу «Електропостачання електричного транспорту» (для студентів 3 курсу всіх форм навчання напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка»).

Укладачі: Нем Валерій Костянтинович,
Кисельов Михайло Іванович,
Скуріхін Владислав Ігоревич

Редактор *М. З. Аляб'єв*

План 2009, 238 М

Підп. до друку 11.02.2009 р.	Формат 60×84 1/16
Друк на ризографі.	Ум. друк. арк. 2,9
Зам. №	Тираж 100 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 731 від 19.12.2001